Piroi Ion

INSTALAŢII ELECTRICE ŞI DE ILUMINAT

Editura EFTIMIE MURGU
Reşiţa, 2009

Referent ştiinţific: Prof.univ.dr.ing. Gillich Nicoleta

Descrierea CIP a Bibliotecii Naţionale a României
PIROI, ION
Instalaţii electrice şi de iluminat / Ion Piroi. – Reşiţa: Editura Eftimie Murgu, 2009
Bibliogr.
ISBN 978-973-1906-38-6

628.9

Tehnoredactare: ing. dipl. Florin Pomoja

Editura Eftimie Murgu, 2009
Editură acreditată de CNCSIS

Adresa:
Piaţa Traian Vuia nr.1- 4, 320085, Reşiţa
Tel.0255-210227, Fax: 0255-210230

Coperta: Tipografia „Intergraf" Reşiţa

ISBN 978-973-1906-38-6

Cuprins

Cuprins 3
Prefaţă 7
Abrevieri 9
Capitolul 1. NOŢIUNI DESPRE INSTALAŢIILE ELECTRICE 11
1.1. Instalaţie electrică. Echipament electric 11
1.2. Clasificarea instalaţiilor electrice 11
1.3. Noţiuni despre instalaţiile de producere a energiei electrice 14
1.4. Noţiuni despre instalaţiile de transport a energiei electrice 17
1.5. Noţiuni despre instalaţiile de distribuţie a energiei electrice 19
1.6. Elemente generale ale instalaţiilor electrice la consumator 21
1.6.1. Structura instalaţiilor electrice la consumatori 23
1.6.2. Calculul secţiunii conductoarelor de alimentare a consumatorilor 24
1.6.3. Determinarea puterii de calcul şi a curentului de calcul 31
1.6.4. Verificarea secţiunii la densitatea maximă a curenţilor de vârf 38
1.6.5. Stabilirea curentului nominal al fuzibilelor şi a curentului de acţionare al întreruptoarelor automate 38
1.6.6. Verificarea secţiunii conductorului la pierderea de tensiune 39
Capitolul 2. ILUMINATUL ELECTRIC. GENERALITĂŢI 41
2.1. Lumina şi ochiul omenesc 41
2.1.1. Ochiul omenesc 42
2.1.2. Percepţia vizuală 43
2.1.3. Câmpul vizual 45
2.2. Radiaţii luminoase 45
2.3. Mărimi şi unităţi fotometrice 46
2.3.1. Fluxul energetic sau puterea radiantă a unei surse 47
2.3.2. Fluxul luminos Φ 47
2.3.3. Intensitatea luminoasă I 49
2.3.4. Iluminarea E 52
2.3.5. Luminanţa (strălucirea) L 53
2.3.6. Emitanţa (excitanţa, radianţa) R 55
2.3.7. Cantitatea de lumină (energia luminoasă) Q 55
2.3.8. Cantitatea de iluminare (şi expunerea luminoasă) Q_E 55
2.3.9. Randamentul luminos η_l 56
2.3.10. Eficacitatea luminoasă e 57
2.3.11. Temperatura de culoare T_c 57
2.3.12. Redarea culorilor (indicele R_a) 58
2.4. Legi aplicate în luminotehnică 59
2.4.1. Legile privind producerea radiaţiilor electromagnetice pe cale termică 59
2.4.2. Legile privind propagarea şi distribuţia radiaţiilor luminoase 62
2.4.3. Legile privind comportarea luminii la suprafaţa de separaţie între două medii diferite 63

Capitolul 3. CALCULUL ŞI MĂSURAREA MĂRIMILOR FOTOMETRICE 68
3.1. Calculul mărimilor fotometrice 68
3.1.1. Determinarea formulei generale de calcul a fluxului luminos 68
3.1.2. Calculul fluxului luminos când intensitatea luminoasă poate fi scrisă sub formă analitică 69
3.1.3. Calculul fluxului luminos când intensitatea luminoasă este dată sub formă grafică. Diagrama Rousseau 71
3.2. Măsurarea mărimilor fotometrice 72
3.2.1. Măsurarea intensităţii luminoase 73
3.2.2. Măsurarea fluxului luminos 74
3.2.3. Măsurarea iluminării 75
3.2.4. Măsurarea luminanţei 78
3.2.5. Măsurarea distribuţiei spectrale 82
Capitolul 4. SURSE ELECTRICE DE LUMINĂ 84
4.1. Generalităţi 84
4.2. Lămpi electrice cu incandescenţă 88
4.2.1. Lămpi cu incandescenţă clasice (LIC) 88
4.2.2. Lămpi cu incandescenţă cu halogeni (LIH) 91
4.3. Lămpi electrice cu descărcări în gaze sau vapori metalici 91
4.3.1. Generalităţi 91
4.3.2. Lămpi fluorescente tubulare sau toroidale 94
4.3.3. Lămpi fluorescente compacte 101
4.3.4. Lămpi cu inducţie (LQ) 103
4.3.5. Lămpi cu descărcări în vapori de mercur 109
4.3.6. Lămpi cu descărcări în vapori de mercur de înaltă presiune, cu adausuri de halogenuri metalice (metal-halide) 112
4.3.7. Lămpi cu descărcări în vapori de mercur de înaltă presiune, cu balast încorporat (sau cu lumină mixtă) 114
4.3.8. Lămpi cu descărcări în vapori de sodiu 115
4.3.9. Lămpi cu sulf cu microunde (LS) 117
4.3.10. Lămpi cu xenon 118
4.4. Lămpi cu LED-uri 119
Capitolul 5. APARATE DE ILUMINAT 123
5.1. Caracteristici şi clasificări ale aparatelor de iluminat 123
5.1.1. Caracteristici ale aparatelor de iluminat 123
5.1.2. Clasificări ale aparatelor de iluminat 128
5.2. Tipuri de aparate de iluminat 129
5.2.1. Aparate de iluminat pentru uz comercial 129
5.2.2. Aparate de iluminat pentru uz industrial 129
5.2.3. Aparate de iluminat pentru iluminatul public stradal 130
5.2.4. Aparate de iluminat pentru iluminatul de siguranţă 130
5.2.5. Aparate de iluminat arhitectural şi ambiental 130
5.2.6. Aparate de iluminat pentru teatre şi studiouri 131
5.2.7. Aparate de iluminat pentru semnalizare luminoasă 131
5.2.8. Aparate de iluminat pentru autovehicule 132
5.3. Suprafeţe luminoase sau luminate 132

5.3.1. Suprafeţe luminoase 132
5.3.2. Suprafeţe luminate 134
Capitolul 6. SISTEME DE ILUMINAT 135
6.1. Sisteme de iluminat interior 135
6.1.1. Sisteme de iluminat normal 135
6.1.2. Sisteme de iluminat de siguranţă 138
6.2. Sisteme de iluminat exterior 141
6.2.1. Sisteme de iluminat exterior normale 141
6.2.2. Sisteme de iluminat exterior de siguranţă 142
Capitolul 7. CALITATEA ILUMINATULUI ARTIFICIAL 143
7.1. Calitatea iluminatului artificial asigurat de sisteme de iluminat interior 143
7.1.1. Nivelul de iluminare 143
7.1.2. Uniformitatea iluminării 146
7.1.3. Luminanţa aparatelor de iluminat şi uniformitatea luminanţei 148
7.1.4. Contrastele de luminanţă 149
7.1.5. Culoarea şi componenţa spectrală a luminii 150
7.1.6. Umbrele şi perceperea detaliilor 152
7.1.7. Indicele de orbire 152
7.1.8. Eficienţa energetică a sistemului de iluminat 155
7.2. Calitatea iluminatului artificial asigurat de sisteme de iluminat exterior 156
7.2.1. Uniformitatea generală a luminanţei 156
7.2.2. Uniformitatea longitudinală a luminanţei 157
7.2.3. Indicele de prag TI 157
7.2.4. Raportul de zonă alăturată SR 158
Capitolul 8. CALCULUL FOTOMETRIC AL SISTEMELOR DE ILUMINAT 160
8.1. Calculul sistemelor de iluminat interior 160
8.1.1. Datele iniţiale pentru proiectare 160
8.1.2. Metode de calcul fotometric al instalaţiilor de iluminat interior 162
8.2. Calculul sistemelor de iluminat exterior 172
8.2.1. Datele iniţiale pentru proiectare 172
8.2.2. Metode de calcul fotometric al instalaţiilor de iluminat exterior 173
Capitolul 9. PROIECTAREA SISTEMELOR DE ILUMINAT FOLOSIND PROGRAME SPECIALIZATE 175
9.1. Generalităţi 175
9.2. Aplicaţia ELBALux 177
9.2.1. Calcul unui sistem de iluminat interior cu ELBALux 4.4 178
9.2.2. Calcul unui sistem de iluminat suprafeţe cu ELBALux 4.4 184
9.3. Aplicaţia Relux 187
9.4. Aplicaţia DIALux 190
9.4.1. Calcul unui sistem de iluminat interior cu DIALux 191
9.4.2. Calcul unui sistem de iluminat stradal cu DIALux 195
Anexe 221
Anexa 1 – Simbolizarea cablurilor electrice 221
Anexa 2 – Densităţi economice de curent [A/mm^2] 223
Anexa 3 – Încărcarea maximă admisă a cablurilor de energie în regim permanent 223

Anexa 4 – (Anexa 2 din NP 061-02) Valori recomandate pentru proiectarea sistemelor de iluminat general 227
Anexa 5 – Ghid prescurtat pentru alegerea claselor de iluminat general – BS EN 13201-2 :2003 240
Anexa 6 – Valori ale indicelui global de orbire UGR şi ale indicelui de redare a culorilor R_a (extrase din standardele EN 12464-1, EN 12464-2, EN 12193) .. 241
Bibliografie 243

Prefaţă

Prezenta lucrare – intitulată „Instalaţii Electrice şi de Iluminat“ (denumire impusă) – este structurată după curricula cursului predat studenţilor de la Facultatea de Inginerie a Universităţii „Eftimie Murgu“ din Reşiţa.

Lucrarea conţine 9 capitole, în fiecare dintre acestea urmărindu-se prezentarea elementelor necesare înţelegerii rolului instalaţiilor electrice şi a iluminatului electric în activitatea economică şi socială. Autorul s-au străduit să prezinte informaţiile într-un stil cursiv, gradual, pentru ca acestea să fie cât mai accesibile cititorului.

S-a acordat o deosebită atenţie notaţiilor folosite în ecuaţii şi în figuri, încercându-se folosirea – când a fost posibil – a aceloraşi notaţii de-a lungul întregii lucrări, pentru a uşura înţelegerea acestora. Unde a fost cazul au fost prezentate unităţile de măsură ale mărimilor pentru a obişnui studenţii să asocieze mărimile cu unităţile lor de măsură. Au fost realizate desene cât mai clare, care să ajute atât înţelegerea fenomenelor care au loc, cât şi a raţionamentelor efectuate.

În capitolul unu sunt prezentate sumar noţiunile generale despre producerea, transportul şi distribuţia energiei electrice, fiind făcute clasificări ale instalaţiilor la consumator după mai multe criterii. În acest capitol sunt prezentate şi elementele necesare pentru determinarea secţiunilor necesare pentru cablurile de alimentare a consumatorilor şi a conductoarelor folosite în instalaţiile la consumator.

În capitolul doi sunt prezentate: ochiul uman şi percepţia luminii, mărimile fotometrice şi legile aplicate în lumino-tehnică. S-a pus accent pe detalierea noţiunilor de temperatură de culoare şi indicele de redare a culorilor, mărimi cu o influenţă mare asupra calităţii sistemelor de iluminat electric.

Capitolul trei cuprinde calculul şi măsurarea mărimilor fotometrice. Sunt prezentate metode clasice de calcul al acestor mărimi şi câteva metode de măsurare a acestora, fiind prezentate şi unele instrumente din laboratorul de Instalaţii Electrice şi Iluminat al Universităţii „Eftimie Murgu” din Reşiţa.

În capitolul patru sunt prezentate sursele electrice de lumină, începând cu lămpile electrice cu incandescenţă, prezentate din motive istorice. Prezentarea este continuată cu lămpile cu descărcări în vapori metalici şi gaze. S-a urmărit prezentarea ultimelor noutăţi în domeniul surselor electrice de lumină, prezentându-se lămpile cu inducţie şi cele cu LED-uri, cu avantajele şi dezavantajele lor.

Capitolul cinci detaliază prezentarea unor aparate de iluminat, care au fost clasificate după mai multe criterii, cel mai important fiind destinaţia acestora. În final s-au prezentat sumar şi suprafeţele luminoase sau luminate.

În capitolul următor sunt prezentate sisteme de iluminat interior şi exterior, sisteme necesare în alegerea celei mai bune variante într-un calcul de proiectare a instalaţiilor de iluminat artificial.

Capitolul şapte tratează problemele de calitate ale iluminatului artificial, probleme care capătă o importanţă tot mai mare, în condiţiile în care iluminatul artificial asigură condiţii de muncă pentru tot mai mulţi oameni, pe perioade tot mai mari. Calitatea iluminatului artificial – în condiţiile mai sus arătate – influenţează starea de sănătate a oamenilor, având în vedere că circa 70% din informaţii le primim prin intermediul interacţiunii ochi – lumină. În acest sens, s-a pus accent pe prezentarea uniformităţii iluminării şi luminanţei, indicelui de orbire şi a raportului de zonă alăturată.

În capitolul opt sunt prezentate sumar datele necesare şi metodele pentru proiectarea instalaţiilor de iluminat interior, respectiv exterior.

În capitolul nouă, scris aproape în totalitate de către domnul drd. ing. dipl. Florin Pomoja, sunt trecute în revistă diverse soft-uri, dezvoltate de firme de renume din Europa şi din lume, cu ajutorul cărora calculul laborios în urmă cu circa 30 de ani, devine o activitate de-a dreptul plăcută pentru cei interesaţi (proiectanţi). Astfel, sunt prezentate soft-uri de calcul dezvoltate de către diverse firme sau organizaţii: S.C. Elba SA Timişoara – cu aplicaţia ELBALux, soft-ul Relux – dezvoltat de către Relux Informatik AG, respectiv soft-ul DIALux – dezvoltat şi susţinut de DIAL GmbH, un conglomerat de firme diverse.

Capitolul al nouălea se încheie cu un exemplu de utilizare al acestuia din urmă, într-un contract de cercetare realizat de colectivul de specialişti de la Facultatea de Inginerie a Universităţii „Eftimie Murgu" din Reşiţa.

Lucrarea se finalizează cu prezentarea unor anexe utile în calculul instalaţiilor electrice de alimentare şi al instalaţiilor de iluminat artificial.

Tratarea tuturor problemelor s-a făcut în stil clasic, stabilind corelaţii – când a fost cazul – cu elemente aparţinând altor discipline.

Aduc mulţumiri tuturor celor care au făcut observaţii pe parcursul elaborării lucrării – de care am ţinut cont în lucrare. Mulţumesc colegilor care m-au ajutat – într-o formă sau alta – la realizarea acestei lucrări, domnului director ing., ec. Romolus Povian şi domnişoarei drd. ing. Mărioara Fetescu de la S.C. Elba SA Timişoara, pentru accesul acordat în laboratoarele societăţii şi permanenta colaborare în probleme legate de iluminatul electric.

În final, mulţumesc în special domnului drd. ing. dipl. Florin Pomoja, pentru interesul arătat şi mai ales pentru ajutorul acordat în toate etapele elaborării lucrării, şi care a realizat tehnoredactarea şi grafica computerizată a lucrării cu o grijă deosebită.

Mulţumesc anticipat cititorilor, care cu siguranţă vor putea aduce sugestii, observaţii şi critici asupra lucrării de faţă.

Reşiţa, decembrie 2009

Autorul

Abrevieri

Abreviere	Explicaţie
AIL	aparat/e de iluminat
CIE	Comitetul Internaţional de Iluminat (acronim din lb. fr.)
CIL	corp/uri de iluminat
LEA	linie/i electrice aeriene
LEC	linie/i electrice în cablu
LED	diodă emiţătoare de lumină (acronim din lb. en.)
LIC	lampă/i cu incandescenţă
LIG	lampă/i cu incandescenţă normale de uz general
LIH	lampă/i incandescente cu halogeni
LF	lampă/i fluorescentă/e
LFC	lampă/i fluorescentă/e compacte
LFT	lampă/i fluorescentă/e tubulare
LMF	lampă/i cu mercur de înaltă presiune cu balon fluorescent
LMH	lampă/i cu mercur de înaltă presiune cu halogenuri metalice
LMM	lampă/i cu mercur de înaltă presiune cu lumină mixtă
LQ	lampă/i cu inducţie cu mercur (fără electrozi)
LS	lampă/i cu sulf cu microunde
LVF	lampă/i cu descărcări în vapori de mercur sub presiune cu balon oval fluorescent
LSÎP	lampă/i cu sodiu de înaltă presiune
LSJP	lampă/i cu sodiu de joasă presiune
MH	lampă/i cu descărcări în vapori de mercur sub presiune
SEN	Sistemul Electroenergetic Naţional
SIL	sistem/e de iluminat
SON(T)	lampă/i cu descărcări în vapori de sodiu sub presiune (cu balon tubular)
SOX	lampă/i cu descărcări în vapori de sodiu la joasă presiune

Capitolul 1. NOŢIUNI DESPRE INSTALAŢIILE ELECTRICE

1.1. Instalaţie electrică. Echipament electric

Instalaţia electrică – în sens general – este instalaţia care constă din ansamblul de conductoare electrice şi elemente de circuit electric, inclusiv aparate, dispozitive etc., uneori şi maşini electrice, şi care serveşte unor scopuri energetice (pentru producerea, transportul, distribuirea sau utilizarea energiei electrice) sau pentru semnalizări, comenzi, telecomunicaţii.

Instalaţia electrică defineşte, conform terminologiei actuale, un ansamblu de echipamente electrice interconectate într-un spaţiu dat, formând un singur tot şi având un scop funcţional bine determinat.

Echipamentul electric este un ansamblu constituit din maşini, aparate, mecanisme sau dispozitive, inclusiv elementele de legătură sau conexiune (conductoare electrice) care îndeplineşte o anumită funcţie într-un proces tehnologic, la o maşină, la un vehicul, într-o instalaţie, într-o fabrică sau uzină. Echipamentul este mobil sau imobil după cum efectuează sau nu deplasări în serviciu.

În practică, noţiunile de **instalaţie electrică** şi **echipament electric** sunt strâns legate şi nu pot fi strict delimitate. Astfel, un dispozitiv considerat ca echipament al unei instalaţii poate avea el însuşi o instalaţie electrică proprie şi un echipament destul de complex.

1.2. Clasificarea instalaţiilor electrice

1) După sensul fluxului de energie electrică, instalaţiile electrice, în accepţiunea cea mai largă, cuprind:

- instalaţii electrice de producere a energiei electrice;
- instalaţii electrice de transport a energiei electrice;
- instalaţii electrice de distribuţie a energiei electrice;
- instalaţii electrice de utilizare a energiei electrice.

Această divizare a instalaţiilor electrice, ce ţine seama de poziţia şi de rolul părţilor componente faţă de energia electrică poate fi urmărită în figura 1.1, unde este reprezentată o schemă generală de principiu care cuprinde instalaţiile de producere, de transport, de distribuţie, de utilizare a energiei electrice şi instalaţiile auxiliare aferente.

Energia electrică este **produsă** în centrala electrică CE, care se află în afara oraşului sau zonei industriale, în apropierea locului unde se află sursa de energie primară. Nivelul de tensiune la producere este scăzut (6; 10; 15,75; 20; 24 kV). Pentru ca transportul energiei electrice să fie economic se ridică nivelul de tensiune prin intermediul unei staţii ridicătoare SR la 110 kV, 220 kV sau 400 kV. Staţia ridicătoare se află în imediata vecinătate a centralei electrice.

Instalaţia electrică de **transport** a energiei electrice se delimitează între intrarea în staţia ridicătoare SR şi ieşirile din staţiile de transformare ST1, ST2.

Până la marginea oraşului sau zonei industriale, unde se află o staţie coborâtoare SC, energia electrică este transportată prin **l**inie **e**lectrică **a**eriană (LEA). Prin intermediul staţiei coborâtoare nivelul tensiunii este coborât la 35 kV (nivel de tensiune tolerat), 20 kV sau la un alt nivel corespunzător posibilităţilor de transport prin **l**inii **e**lectrice în **c**ablu (LEC).

De la staţia coborâtoare energia este transportată prin LEC sau LEA – acolo unde este posibil – la staţii de transformare ST1, ST2 etc., situate în centrele de greutate ale consumatorului de energie electrică.

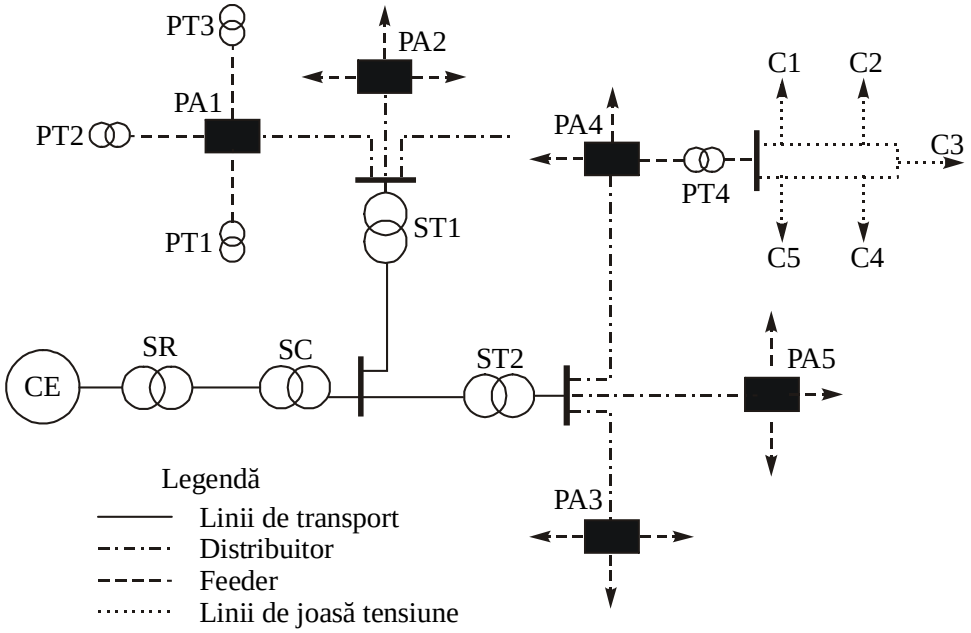


Fig. 1 .1 Schema de principiu a unei instalaţii pentru producerea, transportul, distribuţia şi utilizarea energiei electrice.

Instalaţia electrică de **distribuţie** se delimitează între ieşirea din staţiile de transformare ST1, ST2 şi ieşirile din posturile de transformare PT1, PT2 etc. Pentru o bună repartizare a sarcinilor şi pentru realizarea unei instalaţii cu posibilităţi de extindere ulterioară, între staţiile de transformare şi posturile de transformare se prevăd staţii de conexiuni intermediare, denumite puncte de alimentare PA1, PA2 etc. Alimentarea posturilor de transformare se face la tensiunea de distribuţie (6 kV, 10 kV, 20 kV etc.) din punctele de alimentare prin feeder-i.

Instalaţia electrică **la consumator** (**de utilizare** a energiei electrice) cuprinde reţeaua de joasă tensiune de 0,4 kV, constituită din linii electrice şi consumatorii electrici C1, C2 etc. Alimentarea cu energie electrică a fiecărui consumator electric de forţă se face prin circuit separat, în funcţie de puterea simultană cerută de acesta, costurile instalaţiei fiind suportate parţial de consumator, parţiale de furnizorul de energie electrică.

2) După rolul şi poziţia ocupată faţă de procesul energetic la care concură, instalaţiile electrice se pot clasifica în:

- instalaţii electrice de **curenţi tari**, care cuprind instalaţiile utilizate în procesul de producere, transport, distribuţie şi utilizare a energiei electrice; ***instalaţiile de iluminat*** şi forţă sunt instalaţii de curenţi tari;
- instalaţii electrice de **curenţi slabi**, care concură la realizarea proceselor energetice: instalaţii de **a**utomatizare, **m**ăsură şi **c**ontrol (AMC), instalaţii de semnalizare acustică şi optică, instalaţii fonice şi video, instalaţii de avertizare a apariţiei incendiilor, instalaţii de paratrăsnet etc. În cadrul acestei categorii de instalaţii un loc aparte revine instalaţiilor **auxiliare,** care cuprind instalaţii de menţinere a calităţii energiei electrice, pentru protecţia personalului împotriva electrocutărilor, pentru protecţia clădirilor şi a bunurilor, de telecomunicaţii etc.

3) După nivelul tensiunii, instalaţiile se clasifică în:

- instalaţii de **joasă tensiune** – a căror tensiune de lucru este sub 1 kV;
- instalaţii de **medie tensiune** – a căror tensiune de lucru este cuprinsă între 1 kV şi 20 kV;
- instalaţii de **înaltă tensiune** – a căror tensiune de lucru este cuprinsă între 35 kV (nivel de tensiune tolerat) şi 110 kV şi 220 kV;
- instalaţii de **foarte înaltă tensiune** – a căror tensiune de lucru este mai mare de 220 kV (400 kV şi 750 kV).

4) După frecvenţa de lucru se deosebesc:

- instalaţii electrice de **curent continuu** (f=0);
- instalaţii electrice de **curent alternativ** (f>0), care se clasifică în:
  - instalaţii de **joasă frecvenţă** (0<f<50 Hz);
  - instalaţii de **frecvenţă industrială** (f=50 Hz);
  - instalaţii de **medie frecvenţă** (100<f<10.000 Hz);
  - instalaţii de **înaltă frecvenţă** (f>10.000 Hz).

1.3. Noţiuni despre instalaţiile de producere a energiei electrice

Energia electrică este produsă prin metode clasice (în proporţie de peste 90%) şi prin aşa-numitele metode neconvenţionale sau metode de conversie directă a energiei primare în energie electrică.

Datorită poluării ce determină încălzirea globală, cu consecinţele ei grave asupra schimbării mediului, multe ţări şi organisme internaţionale au întocmit planuri de creştere a producţiei de energie electrică cu ajutorul metodelor nepoluante de producere a energiei electrice. Se consideră metode nepoluante acele metode care nu contribuie la emisia de dioxid de carbon sau a altor noxe în atmosferă/natură.

În categoria metodelor nepoluante intră o parte din metodele clasice, care utilizează ca purtător de energie primară apa, vântul, radiaţia solară directă, energia geotermală şi toate metodele neconvenţionale.

Purtătorii de energie, ca rezultat al acţiunii radiaţiei solare de-a lungul milioanelor de ani ai, sunt: combustibilii solizi, lichizi şi gazoşi, căderile de apă, mareele şi curenţii marini, vântul, apele termale, combustibilii nucleari. La aceştia se adaugă şi radiaţia solară însăşi.

Sursele de energie sunt **epuizabile** dacă nu se mai formează sau se formează într-un ritm foarte scăzut faţă de ritmul consumului (de exemplu combustibilii, apele termale).

Sursele de energie sunt **inepuizabile** – numite şi regenerabile sau neconvenţionale – dacă se regenerează continuu (sursele de apă, mareele, curenţii marini, vântul).

Având în vedere avantajele pe care le oferă energia electrică, în ultimul timp aceasta s-a impus din ce în ce mai mult ca formă intermediară între purtătorii primari de energie şi consumatori.

În figura 1.2 este prezentată o structură generală a metodelor de producere a energiei electrice.

Metodele clasice de producere a energiei electrice, care asigură în prezent circa 98% din consumul mondial de energie electrică, constă în aceea că sursele primare de energie (combustibil, apă etc.) cedează energia unor purtători intermediari de energie (abur, mase în mişcare etc.) care – prin intermediul generatoarelor electrice – permit apoi obţinerea energiei electrice. Metodele clasice presupun existenţa a cel puţin a unei forme de energie intermediară – energia mecanică – între purtătorul primar de energie şi energia electrică.

Metodele de conversie directă a energiei se caracterizează prin aceea că energia primară este transformată direct în energie electrică fără a mai fi trecută prin fazele amintite mai sus.

Producerea energiei electrice prin metode clasice are loc în centrale

electrice, centrale care – în funcţie de purtătorul de energie primară – pot fi:

- centrale termoelectrice;
- centrale hidroelectrice;
- centrale helioelectrice;
- centrale eolianoelectrice.

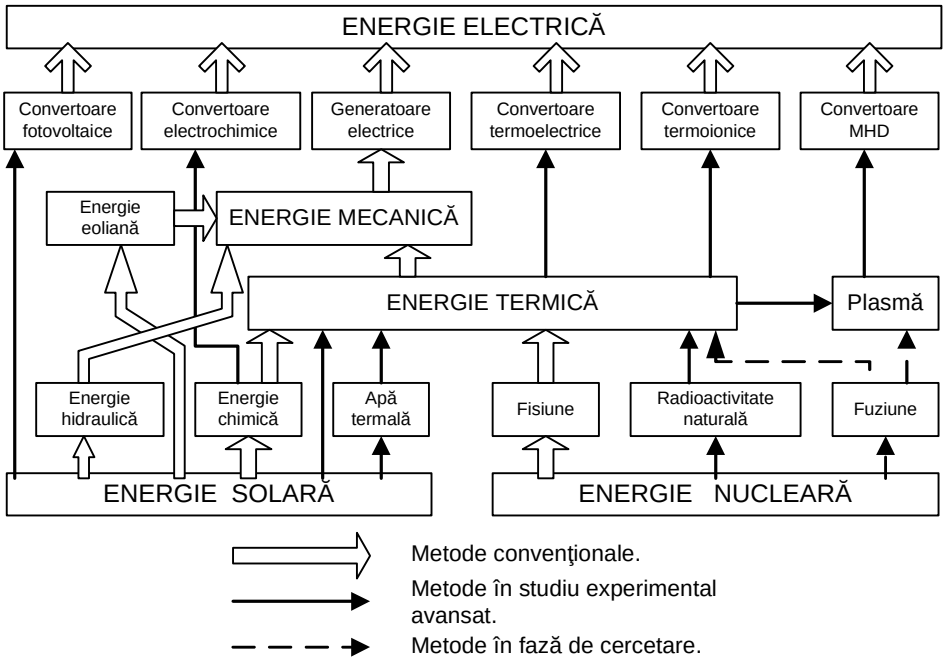


Fig. 1. 2 Metode de producere a energiei electrice.

Producerea energiei electrice prin **conversie** (transformare) **directă** a energiei primare are loc în convertoare, care – în funcţie de purtătorul de energie primară şi de fenomenul sau efectul utilizat – pot fi:

- convertoare fotovoltaice (pile solare);
- convertoare termoelectrice (pile termoelectrice);
- convertoare termoionice (pile termoionice);
- convertoare electrochimice (pile electrochimice);
- convertoare magnetohidrodinamice (generatoare MHD).

Pentru România puterea instalată a centralelor electrice în intervalul 2004 – incluzând şi puterea instalată a primului şi al doilea grup ale centralei nuclearoelectrice de la Cernavodă – până la finele anului 2007 este prezentată în tabelul 1.1 a)[1].

[1] **EIA 2009** – http://www.eia.doe.gov

Producţia de energie electrică pentru ţara noastră în acelaşi interval este prezentată în tabelul 1.1 b).

Tabel 1.1 a)

Anul		Termică	Hidro	Nucleară	Altele*	Total
2004	MW	13.347	6.279	705	0	20.331
	%	65,64	30,88	3,48	0	100
2005	MW	12.753	6.289	705	1	19.748
	%	64,57	31,85	3,57	0,01	100
2006	MW	13.032	6.281	705	3	20.021
	%	65,09	31,37	3,52	0,02	100
2007	MW	13.265	6.331	1.412	8	21.016
	%	63,12	30,12	6,72	0,04	100

Tabel 1.1 b)

Anul	UM	Termică	GUPI [%]	Hidro	GUPI [%]	Nucleară	GUPI [%]	Altele*	Total	GUPI [%]
2004	GWh	32.356	27,67	16.348	29,72	5.271	85,35	4	53.979	30,31
	%	59,942		30,286		9,765		0,007	100	
2005	GWh	31.632	28,31	20.005	36,31	5.277	85,44	7	56.921	32,90
	%	55,572		35,145		9,271		0,012	100	
2006	GWh	35.944	31,49	18.156	33,00	5.178	83,84	4	59.282	33,80
	%	60,633		30,626		8,734		0,007	100	
2007	GWh	35.429	30,49	15.740	28,38	7.079	91,29	36	58.284	31,66
	%	60,786		27,006		12,146		0,062	100	

* *În coloana Altele sunt cuprinse puteri instalate, respectiv energii electrice produse pe bază de vânt, biomasă şi deşeuri.*

Din tabelul 1.1 b) se observă că **g**radul de **u**tilizare al **p**uterii **i**nstalate (GUPI) totale nu depăşeşte 34%. Rezultă de aici că România are o capacitate instalată nefolosită foarte mare, deci are o mare rezervă, putând exporta energie electrică dacă preţurile de export sunt atractive.

Centrala nucleară de la Cernavodă are un grad de utilizare al puterii instalate în jurul a 85%. Pentru anul 2007 acest grad de utilizare este mai mare deoarece în ultimele trei luni ale anului a funcţionat aproape continuu şi al doilea grup al centralei. Pe plan mondial gradul de utilizare al puterii instalate al centralelor nuclearoelectrice este de 70,42%.

Introducerea energeticii nucleare în ţara noastră a condus la o mutaţie în distribuţia producerii de energie pe diferite tipuri de combustibili. Astfel, din cei cca 8.500 MW necesari consumatorilor din ţara noastră, 1.400 MW sunt furnizaţi de către CNE Cernavodă. La această centrală lucrările de construcţie au început în anul 1979. Proiectul iniţial avea în vedere cinci grupuri de câte 706 MW(e) de tip CANDU. Din acestea:

– primul grup funcţionează la parametrii proiectaţi din 07.11.1996[2] **(la 02.12.1996 grupul a intrat în exploatare comercială);**

– al doilea grup a fost dat în exploatare la **28.09.2007**.

[2] **PRIS** (Power Reactor Information System) at 08/14/2003.

În prezent cele două unităţi nucleare pot asigura 18% din necesarul de energie electrică al României, dacă funcţionează continuu. Din tabelul 1.1 b) rezultă că centrala nucleară de la Cernavodă a furnizat Sistemului Electroenergetic Naţional între 9,7% şi 12% din energia necesară. Strategia energetică a ţării noastre până în 2020 prevede finalizarea şi punerea în funcţiune a unităţilor trei şi patru – până în anii 2014-2015.

1.4. Noţiuni despre instalaţiile de transport a energiei electrice

Transmiterea energiei electrice de la centralele producătoare de energie electrică spre centrele de consum se face prin intermediul liniilor electrice, care, în general, sunt elemente componente ale sistemelor electroenergetice. Transportul energiei electrice se face – din motive tehnice şi economice – numai la tensiuni înalte (110 şi 220 kV) şi foarte înalte (peste 220 kV), în curent continuu sau alternativ, prin linii electrice aeriene (LEA), linii electrice în cablu (LEC) sau linii electrice sub apă, care sunt de fapt tot linii electrice în cablu.

Instalaţiile de transport, având în componenţă transformatoare şi autotransformatoare – ridicătoare şi coborâtoare de tensiune – LEA şi LEC, bobine de reactanţă etc., asigură tranzitarea unor cantităţi mari de energie electrică între centralele electrice şi consumatori sau între noduri ale sistemului electroenergetic pe distanţe foarte mari (sute de kilometrii), la nivel de înaltă şi foarte înaltă tensiune. În tabelul 1.2 se prezintă valorile tensiunilor normalizate pentru ţara noastră şi anumite consideraţii privind elementele constructive şi destinaţia reţelei electrice aferente.

Tabel 1.2

Nr. crt.	Treapta de tensiune	Valoarea tensiunii normalizate [kV]	Numărul conductoa-relor active	Situaţia neutrului faţă de pământ	Tipul liniilor electrice	Destinaţia reţelei
1	ÎT	110	3	legat la pământ	aeriene subterane	reţele de transport; alimentare mari platforme industriale
2		220			aeriene	reţele de transport; alimentare mari platforme industriale
3	FÎT	400	3	legat la pământ	aeriene	reţea de transport
4		750			aeriene	reţea de transport

Alegerea nivelului de tensiune este impusă de considerente tehnico-economice vizând pierderile de energie, a căror valoare este direct proporţională cu pătratul puterii vehiculate şi cu lungimea liniei şi invers proporţională cu pătratul tensiunii, precum şi valoarea investiţiilor,

proporţionale cu pătratul tensiunii.

Instalaţiile de transport a energiei electrice trebuie să asigure respectarea unor cerinţe tehnico-economice, dintre care amintim:

- continuitatea în alimentare cu energie electrică a consumatorilor,
- siguranţa în funcţionare,
- respectarea parametrilor calitativi ai energiei electrice furnizate,
- posibilităţi pentru dezvoltarea ulterioară,
- realizarea investiţiilor în condiţii de eficienţă economică,
- diminuarea factorilor de risc şi poluare a mediului înconjurător.

Datorită necesităţilor de a transporta cantităţi de energie din ce în ce mai mari la distanţe mari valoarea maximă a tensiunii adoptată pentru transport a evoluat şi evoluează ascendent. Această evoluţie influenţează şi liniile de transport existente, care uneori trebuie reconstruite spre a putea funcţiona la tensiuni mai ridicate. Liniile electrice noi se execută frecvent pentru a putea funcţiona în viitor la tensiuni mai înalte fără mari dificultăţi, chiar dacă la punerea lor în funcţiune nivelul tensiunii la care funcţionează este mai scăzut.

În România, pentru transportul energiei electrice se folosesc în prezent nivelele de tensiune de 110 kV, 220 kV, 400 kV şi 750 kV (în sud-estul României). În lume se utilizează şi alte nivele de tensiune: 275 kV şi 400 kV (Anglia), 330 kV (Rusia – Cecenia), 400 kV (Vyborg/Rusia – Kumi/Finlanda), 550 kV (în Rusia şi Japonia), 735 kV (Canada), 765 kV (S.U.A.), 1.150 kV (Siberia – Ural – Volga Mijlocie).

Liniile electrice pot folosi la transportul unei cantităţi masive de energie de la un meridian la altul, de la o paralelă la alta, la transferul de energie din sistemele cu energie electrică excedentară la cele deficitare din acest punct de vedere. Un număr redus de linii electrice aeriene de 500-750 kV realizează în condiţii favorabile interconectarea sistemelor, fie pe plan naţional, fie internaţional.

Transportul energiei electrice în curent continuu nu a luat o amploare prea mare datorită în principal complexităţii instalaţiilor de convertire a curentului, din alternativ în continuu şi invers. Totuşi, sunt realizări şi în acest sens, din care se pot menţiona:

– în cablu: toate legăturile subacvatice importante: Franţa – Anglia (±100 kV), Suedia – Danemarca (±250 kV);

– în linii electrice aeriene: Rusia – Donbas (±400 kV), Siberia – Ural (±750 kV), S.U.A. (±400 kV), Canada (±450 kV), Marea Britanie (±266 kV).

Transportul în cablu nu are o extindere prea mare din cauza costului ridicat al cablurilor şi a dificultăţilor cauzate de evacuarea căldurii prin dielectric, pereţii cablului şi pământ. Transportul în LEC se face acolo unde nu sunt posibile alte variante sau variantele existente devin periculoase. În prezent se fabrică şi se instalează cabluri pentru tensiuni până la 220 kV.

Pentru tensiuni mai mari se execută cabluri speciale, la comandă.

Liniile electrice pentru transportul energiei electrice trebuie să satisfacă anumite condiţii, diferite faţă de cele cerute liniilor electrice de distribuţie, în special în ceea ce priveşte secţiunea conductoarelor. La liniile de transport secţiunea conductoarelor este determinată în principal de următoarele cerinţe:

- asigurarea unor pierderi prin efect Joule cât mai mici;
- menţinerea intensităţii câmpului electric la suprafaţa conductorului sub valoarea critică (21,1 kV/cm valoare efectivă) pentru a evita producerea de pierderi mari prin descărcări ionice (efect Corona) şi perturbarea radiocomunicaţiilor;
- realizarea unui cost al liniei scăzut.

Pentru a satisface aceste cerinţe de cele mai multe ori conductoarele sunt realizate în fascicule din două sau mai multe conductoare jumelate. În acest fel şi puterea transportată este mai mare decât în cazul conductoarelor monofilare de secţiune egală (cu 20-25% în cazul fasciculelor din două conductoare şi 30-35% în cazul fasciculelor din trei conductoare). Această soluţie se aplică în cazul liniilor cu tensiuni de 220 kV şi mai mari.

1.5. Noţiuni despre instalaţiile de distribuţie a energiei electrice

Instalaţia de alimentare electrică este constituită din LEA sau LEC, elemente de circuit electric, aparate, transformatoare electrice, bobine de reactanţă, staţii de conexiuni intermediare (puncte de alimentare) etc., elemente care servesc la realizare distribuţiei energiei electrice.

În sistemul energetic românesc instalaţiile de distribuţie se delimitează între ieşirile din staţiile de transformare şi ieşirile din posturile de transformare (vezi şi *Fig. 1.1*).

Din punctul de vedere al divizării SEN (**S**istemul **E**lectroenergetic **N**aţional) instalaţiile de distribuţie sunt distincte de instalaţiile de transport prin aceea că fac parte din companiile de tip Electrica S.A.

Distribuţia energiei electrice se face preponderent în cabluri LEC mai ales în marile oraşe, dar acolo unde este posibil se face şi în LEA, acestea din urmă fiind mai ieftine şi mai uşor de întreţinut.

1) După felul curentului există:

- distribuţie în curent continuu, folosită în anumite sectoare din industrie, pentru asigurarea iluminatului de rezervă, pentru asigurarea funcţionării unor utilaje în situaţia dispariţiei tensiunii normale de alimentare, în tracţiunea electrică etc. Se folosesc sisteme cu două conductoare, cu trei conductoare şi mai rar cu mai multe conductoare.

În cazul sistemului cu două conductoare receptoarele se conectează între cele două conductoare, din care unul reprezintă polul (+), celălalt polul (–) al sursei.

În distribuţia pentru tracţiunea electrică (de exemplu la tramvaie) unul din conductoare este şina (conectată la pământ), iar celălalt este linia de contact pozată aerian şi izolată faţă de pământ. În distribuţia cu trei conductoare, două conductoare sunt active fiind conectate la polii (+), respectiv (–) ai sursei, iar al treilea este conductorul neutru conectat la un punct de potenţial nul al sursei, conectat de regulă şi la pământ.

- distribuţia în curent alternativ, care este cea mai frecventă, fiind mai economică şi mai elastică datorită posibilităţii de transformare a parametrilor energiei electrice cu ajutorul transformatoarelor. Distribuţia în curent alternativ se realizează cel mai frecvent în sistem trifazat cu 3 sau 4 conductoare.

Tabel 1.3

Nr. crt.	Treapta de tensiune	Valoarea tensiunii normalizate [kV]	Numărul conductoarelor active	Situaţia neutrului faţă de pământ	Tipul liniilor electrice	Destinaţia reţelei
1	JT	0,38	3+1	legat la pământ	subterane aeriene	alimentare consumatori de mică putere (casnic, iluminat, întreprinderi mici)
2	MT	0,66	3	izolat sau legat la pământ printr-o impedanţă	subterane	alimentare motoare mari din industria extractivă
3		6			subterane	alimentare motoare foarte mari; reţea de distribuţie
4		10			subterane	reţele de distribuţie urbană
5		(15)*			subterane aeriene	reţele de distribuţie
6		20			subterane aeriene	reţele de distribuţie în oraşe mari; reţele de distribuţie rurale
7		(35)*			aeriene subterane	reţele de distribuţie rurale şi în oraşe mari
8	ÎT	110	3	legat la pământ	aeriene subterane	reţele de transport; reţele de distribuţie în oraşe foarte mari; alimentare platforme industriale

* *Nu sunt preferate şi se evită utilizarea lor la proiectarea instalaţiilor noi.*

2) După nivelul de tensiune există:

- distribuţie la joasă tensiune, care de regulă se realizează în

sistemul cu patru conductoare la tensiunea de 380/220 V, sau în sistemul cu trei conductoare la tensiuni de 380 V, 660 V*, 1.000 V*;

- distribuţie la medie şi înaltă tensiune, care se face în sistem trifazat cu trei conductoare la tensiuni de 6 kV*, 10 kV*, 15 kV*, 20 kV, 35 kV* şi 110 kV.

În tabelul 1.3 sunt prezentate valorile tensiunilor standardizate pentru ţara noastră şi unele detalii privind elementele constructive şi destinaţia liniei electrice respective.

1.6. Elemente generale ale instalaţiilor electrice la consumator

Prin **consumator** de energie electrică se înţelege un ansamblu de instalaţii electrice constituind una sau mai multe grupe de receptoare, racordate prin linii de distribuţie şi de alimentare în unul sau mai multe puncte la reţeaua de distribuţie a furnizorului de energie electrică.

Receptorul electric este un aparat, o maşină sau o instalaţie, construit(ă)/construite cu scopul de a primi energie electrică printr-o reţea de alimentare, pe care o transformă apoi în energie mecanică, termică, luminoasă etc.

Consumatorii se clasifică în funcţie de puterea maximă absorbită din reţea, în funcţie de efectele produse la întreruperea în alimentarea cu energie electrică şi în funcţie de scopul utilizării energiei electrice din reţea.

În funcţie de puterea maximă absorbită se deosebesc patru clase de consumatori:

- clasa A – consumatori cu un consum mai mare de 50 MVA, care se alimentează din linii electrice aeriene sau în cablu cu tensiunea nominală de 110 kV şi 220 kV;
- clasa B – consumatori cu un consum cuprins între 7,5 şi 50 MVA, care se alimentează din linii electrice aeriene sau în cablu cu tensiunea nominală de 35 kV* şi 110 kV;
- clasa C – consumatori cu un consum cuprins între 2,5 şi 7,5 MVA, care se alimentează din linii electrice aeriene sau în cablu cu tensiunea nominală de 20 kV;
- clasa D – consumatori cu un consum mai mic de 2,5 MVA, care se alimentează din linii electrice de regulă în cablu cu tensiunea nominală de 6 kV* sau 10 kV*.

* Niveluri de tensiune tolerate, nerecomandate pentru extinderi sau linii noi.

În funcţie de efectele produse de întreruperea în alimentarea cu energie electrică, în instalaţiile consumatorilor pot exista patru categorii de consumatori:

- categoria 0 (specială), la care întreruperea alimentării cu energie electrică poate duce la explozii, incendii sau distrugeri de utilaje şi pierderi de vieţi omeneşti;
- categoria I, la care întreruperea alimentării cu energie electrică conduce la dereglarea proceselor tehnologice în flux continuu, ceea ce necesită perioade lungi pentru reluarea activităţii la parametrii cantitativi şi calitativi existenţi în momentul întreruperii alimentării sau la rebuturi importante de materii prime, materiale auxiliare, scule tehnologice, semifabricate;
- categoria a II-a, la care întreruperea alimentării cu energie electrică conduce la nerealizări de producţie, practic numai pe perioada întreruperii, iar producţia nerealizată poate fi, de regulă, recuperată;
- categoria a III-a cuprinde consumatorii care nu se încadrează în categoriile precedente.

În funcţie de scopul utilizării energiei electrice, de instalaţiile şi echipamentele electrice folosite, consumatorii se pot clasifica astfel:

- consumatori cuprinzând instalaţii şi echipamente electrice pentru iluminat;
- consumatori cuprinzând instalaţii şi echipamente electrice pentru forţă: instalaţii electrice pentru motoare electrice, pentru cuptoare electrice necesare tratamentelor termice şi pentru maşini de ridicat şi transportat;
- consumatori cuprinzând instalaţii electrice pentru curenţi slabi: instalaţii electrice pentru semnalizări acustice, optice şi mixte, instalaţii electrice fonice şi video etc.;
- consumatori cuprinzând instalaţii electrice speciale, ca de exemplu instalaţii de iluminat (de siguranţă) în teatre şi cinematografe, instalaţii pentru retransmisii de radio şi de televiziune.

La unii consumatori mai pot exista:

- instalaţii electrice de compensare a factorului de putere;
- instalaţii pentru protecţia omului împotriva electrocutării;
- instalaţii pentru protecţia construcţiilor şi echipamentelor electrice împotriva descărcărilor atmosferice (fulgere, trăsnete).

Există şi alte criterii de clasificare a instalaţiilor electrice la consumator – vezi § 1.2. Clasificarea instalaţiilor electrice.

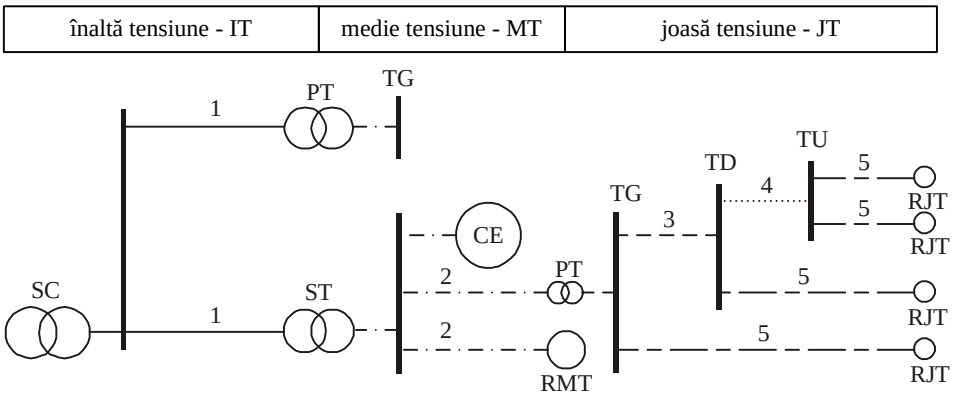
1.6.1. Structura instalaţiilor electrice la consumatori

Deşi există o mare diversitate de consumatori – care au mărimi şi structuri diferite – se pot distinge câteva elemente comune oricăror instalaţii electrice ale acestora. Astfel, orice instalaţie electrică la consumatori conţine reţele electrice şi puncte de alimentare sau de distribuţie, receptoare electrice, echipamente de conectare, protecţie, măsură şi control.

Un consumator poate fi racordat la furnizorul de energie electrică prin unul sau mai multe puncte, în funcţie categoria din care face parte. Furnizorul de energie electrică poate fi SEN – pentru consumatorii de mare putere, sau firme distribuitoare de energie electrică – pentru consumatorii de medie şi mică putere.

Schema electrică de alimentare (distribuţie) cea mai complexă a unui consumator (când există receptoare de medie şi joasă tensiune) – care cuprinde şi o centrală electrică proprie – este reprezentată în figura 1.3.

Această schemă conţine: receptoare de joasă tensiune RJT şi receptoare de medie tensiune RMT, alimentate dintr-o staţie coborâtoare de tensiune SC ce aparţine sistemului electroenergetic naţional SEN, prin intermediul racordului de înaltă tensiune 1, a unei staţii de transformare ST



Legendă

1 - Racord de înaltă tensiune
2 - Distribuitor
3 - Coloană
4 - Circuit utilaj
5 - Circuit receptor

linii de înaltă tensiune
linii de medie tensiune
linii de joasă tensiune

SC - staţie coborâtoare, aparţinând SEN;
ST - staţie de transformare;
PT - post de transformare;
CE - centrală electrică proprie;
TG - tablou general de distribuţie;
TD - tablou de distribuţie;
TU - tablou de forţă utilaj;
RMT - receptor de medie tensiune;
RJT - receptor de joasă tensiune.

Fig. 1. 3 Structura generală a instalaţiilor electrice la consumator.

şi a unuia sau a mai multor posturi de transformare PT. Dacă alimentarea consumatorului se face prin intermediul unui singur post de transformare acesta se racordează direct la barele staţiei coborâtoare de tensiune SC.

Punctele de delimitare între consumator şi furnizorul de energie electrică se consideră **distincte** dacă prin fiecare dintre ele se poate asigura întreaga energie electrică necesară consumatorului atunci când – din motive de avarie – oricare dintre ele este singurul rămas în funcţiune.

Instalaţia electrică cuprinsă între sistemul electroenergetic naţional şi un consumator se numeşte **cale de alimentare**, putând cuprinde: LEA sau LEC, separatoare, întreruptoare, transformatoare, bobine de reactanţă, tablouri generale de distribuţie sau tablouri de distribuţie. Două căi de alimentare sunt distincte dacă un defect la una dintre ele nu o afectează pe cealaltă.

Unii consumatori au şi centrale electrice proprii (de exemplu, S.C. TMK SA Reşiţa), care determină o siguranţă mai mare în alimentarea cu energie electrică a respectivilor consumatori şi valorifică sau recuperează unele surse de energie primară sau secundară[3].

1.6.2. Calculul secţiunii conductoarelor de alimentare a consumatorilor

Dimensionarea secţiunii conductoarelor se face în funcţie de:

– natura receptoarelor alimentate (iluminat, forţă, telecomenzi etc.);

– regimul de funcţionare (continuu sau discontinuu);

– modul de alimentare al consumatorului (LEA sau LEC);

– locul de montaj (exterior, interior, subteran);

– mediul de lucru (mediu agresiv-toxic, mediu cu pericol de explozie sau de incendiu);

Calculul secţiunii conductoarelor se face pe baza unor **criterii tehnice** şi **criterii economice.**

1) Criteriile tehnice au în vedere ca secţiunea conductoarelor electrice ale liniilor de distribuţie şi de alimentare să asigure următoarele:

- rezistenţa mecanică să fie suficientă pentru a suporta eforturile la care sunt supuse în timpul montării şi exploatării;
- încălzirea datorată curentului electric care le parcurge să nu determine depăşirea temperaturilor maxime admisibile, pentru a nu periclita izolaţia sau rezistenţa mecanică;
- căderile de tensiune pe conductoare să nu depăşească valorile maxime admise, pentru a se asigura receptoarelor tensiunea minimă

[3] **Comşa, D. ş.a.** *Proiectarea instalaţiilor electrice industriale*, Ed. Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1983.

necesară pentru funcţionarea lor satisfăcătoare.

2) Criteriile economice au în vedere ca secţiunea conductoarelor:

- să asigure pierderi de energie pe linie cât mai reduse;
- să conducă la un consum minimal de material conductor şi, implicit, la costuri minime.

Secţiunea aleasă pentru conductoare trebuie deci să fie rezultatul unui calcul tehnico-economic.

Determinarea secţiunii conductoarelor după un anumit criteriu impune, de regulă, verificarea acesteia şi după celelalte criterii.

În cazul liniilor de joasă tensiune de lungime redusă, datorită încărcării relativ ridicate a acestora, dimensionarea se face pe baza încălzirii conductoarelor (la sarcină maximă), pierderile de tensiune şi energie fiind neglijabile ca valoare.

La reţele de medie şi la reţele de joasă tensiune suficient de întinse, secţiunea conductoarelor se determină pe baza pierderilor de tensiune pentru a asigura o valoare corespunzătoare a tensiunii la bornele consumatorilor alimentaţi.

Pentru liniile de înaltă tensiune criteriul preponderent la stabilirea secţiunii conductoarelor este acela al pierderilor de energie.

Determinarea secţiunii conductoarelor pe baza încălzirii maxime admisibile

În timpul funcţionării, conductoarele electrice pot fi parcurse de curenţii de sarcină de durată, de curenţii de suprasarcină de durată şi de curenţii de scurtcircuit.

Acţiunea curenţilor de suprasarcină de durată şi a curenţilor de scurtcircuit este limitată de către aparatajul de protecţie. În consecinţă, stabilitatea termică a conductoarelor este determinată de curentul de sarcină de durată, care la rândul lui este determinat de puterea de durată (puterea de calcul) transmisă prin linie.

În regim staţionar cantitatea de căldură dezvoltată în conductor prin efect Joule-Lenz este în întregime cedată mediului ambiant, echilibru ce se exprimă astfel:

$$I_a^{\,2} \cdot \rho\left[1+\alpha_{20}\left(\theta_a-20\right)\right]\frac{l}{S}=\alpha\cdot A\left(\theta_a-\theta_i\right), \qquad (1.1)$$

unde: I_a este curentul maxim admisibil prin conductor [A]; ρ – rezistivitatea materialului conductorului [$\Omega\cdot$m]; α_{20} – este coeficientul de temperatură al rezistenţei [$^oC^{-1}$]; θ_a – temperatura maximă admisibilă a conductorului [^{o}C]; l, S – lungimea [m], respectiv secţiunea transversală a conductorului [m^2]; α – coeficientul de transmitere a căldurii prin convecţie şi radiaţie [W/m$^2\cdot{}^o$C]; A – suprafaţa laterală a conductorului [m^2]; θ_i – temperatura mediului ambiant [^{o}C].

Se poate deci calcula valoarea maximă admisibilă a curentului maxim prin conductor în regim permanent de funcţionare cu relaţia următoare, relaţie din care rezultă că lungimea conductorului nu influenţează valoarea acestui curent:

$$I_a = \sqrt{\frac{\alpha \cdot A(\theta_a - \theta_i)S}{\rho[1+\alpha_{20}(\theta_a - 20)]l}} = \sqrt{\frac{\alpha(\theta_a - \theta_i)}{\rho[1+\alpha_{20}(\theta_a - 20)]}\frac{\pi^2 \cdot D^3}{4}}. \qquad (1.2)$$

Valorile curentului maxim admisibil pentru diferite tipuri, diametre, număr de conductoare într-un cablu, material şi condiţii de pozare sunt date în literatura de specialitate. În cazul pozării conductoarelor în alte condiţii decât cele indicate în tabele se va aplica o corectare a valorii curentului maxim admisibil cu coeficienţi de corectare care sunt de asemenea indicaţi în literatură[4, 5].

În cazul încărcărilor intermitente curentul maxim admisibil indicat în tabele se corectează prin înmulţire cu factorul *a* dat de relaţia următoare:

$$a = \frac{0{,}875}{\sqrt{D \cdot A}}, \qquad (1.3)$$

în care *DĕA* este durata relativă de conectare, adică raportul dintre timpul cât conductorul este parcurs de curent şi durata ciclului de funcţionare.

Pe baza relaţiilor prezentate se pot determina încărcările maxim admisibile pentru secţiunile standardizate ale conductoarelor în funcţie de:

– materialul conductor şi izolator,
– tensiunea de lucru,
– modul de pozare (în pământ sau în aer),
– numărul de conductoare ale unui cablu,
– de temperatura mediului ambiant.

Simbolizarea principalelor tipuri de conductoare şi cabluri este prezentată în Anexa 1.

În tabelele prezentate în Anexa 2 şi Anexa 3 sunt indicate valorile curenţilor admisibili prescrişi de fabricanţi pentru conductoare, în funcţie de elementele precizate mai sus.

Căderi şi pierderi de tensiune pe liniile de distribuţie

Linia electrică este acea parte a reţelei electrice cuprinsă între două noduri ale acesteia, corespunzătoare capătului de început, respectiv de sfârşit al liniei, în fiecare nod existând o tensiune electrică, în general de

[4] *Normativ pentru proiectarea şi executarea instalaţiilor electrice interioare cu tensiuni până la 1500 V c.a. şi 1.000 V c.c.* – I 7-2009.
[5] *Manualul inginerului electrician*, vol. VII, Ed. Tehnică, Bucureşti, 1958.

valori şi faze diferite.

Tensiunea electrică poate fi reprezentată fazorial prin valoarea (modulul) şi faza acesteia. Se ia ca referinţă fazorul corespunzător unui nod de reţea şi se reprezintă fazorul celuilalt nod (*Fig. 1.5*).

Căderea de tensiune pe o linie (sau pe un element de reţea) – notată cu $\Delta\underline{U}_f$ – reprezintă diferenţa fazorială dintre fazorul tensiunii de la începutul liniei $\underline{U}_{f1}$ şi cel al tensiunii de la sfârşitul liniei $\underline{U}_{f2}$:

$$\Delta\underline{U}_f = \underline{U}_{f1} - \underline{U}_{f2}. \qquad (1.4)$$

Pierderea de tensiune pe linie (sau pe un element de reţea) – notată DU_f – este diferenţa algebrică a valorilor efective ale tensiunilor din nodurile de la capetele liniei, fiind dată de relaţia

$$DU_f = U_{f1} - U_{f2}. \qquad (1.5)$$

În condiţiile de exploatare funcţionarea consumatorilor la parametrii nominali impune un anumit nivel maxim al pierderilor de energie electrică. În tabelul 1.4 se prezintă valorile pierderilor admisibile de tensiune impuse prin normative pentru liniile de distribuţie şi în cablu.

Pentru determinarea pierderilor de tensiune în reţele de distribuţie se va considera cunoscută circulaţia curenţilor (puterilor) prin elementele reţelei, iar linia de distribuţie este o linie scurtă caracterizată numai de impedanţa $\underline{Z}$, adică de parametrii longitudinali R şi X, elementele transversale de tip admitanţă $\underline{Y}$ (conductanţa şi susceptanţa) fiind neglijate[6].

Tabel 1.4

Tipul liniei	Pierderile de tensiune admisibile din tensiunea nominală [%]	Observaţii
Linie electrică aeriană de înaltă tensiune	±8 ±12	în regim normal în regim de avarie
Linie electrică aeriană de medie şi joasă tensiune	±6 ±5 ±3	iluminat locuinţe circuite de forţă iluminat industrial şi reclame
Linii subterane	±6 ±10	în regim normal în regim de avarie

În cazul liniei trifazate de curent alternativ care alimentează un consumator trifazat simetric, considerând regimul de funcţionare normal simetric, fenomenele sunt identice pe cele trei faze şi deci, studiul se poate

[6] **Gillich, N.** *Producerea, transportul şi distribuţia energiei electrice*, Ed. Eftimie Murgu, Reşiţa, 2001.

face pe o singură fază. Se consideră cunoscute curentul absorbit de consumator $\underline{I}_f$ şi tensiunea de fază la bornele acestuia $\underline{U}_{f2}$ şi se urmăreşte determinarea tensiunii de la capătul de alimentare $\underline{U}_{f1}$, căderea şi pierderea de tensiune pe linie.

Schema simplificată corespunzătoare unei faze este reprezentată în figura 1.4, în care linia electrică de lungime *l* se reprezintă numai prin parametrii longitudinali.

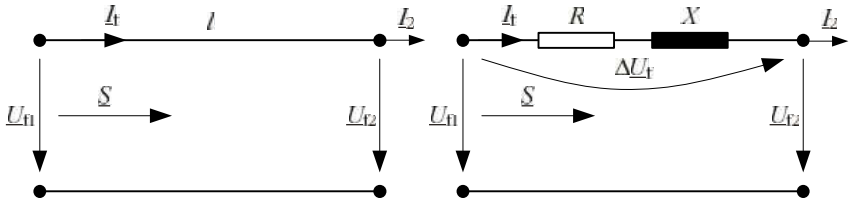


Fig. 1. 4 a) schema simplificată; b) schema echivalentă –corespunzătoare unei faze.

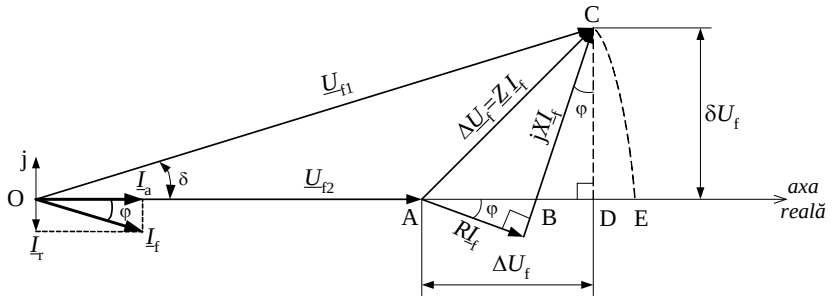


Fig. 1. 5 Diagrama fazorială a tensiunilor în cazul liniei cu un consumator.

Diagrama fazorială a tensiunilor, reprezentată în figura 1.5, se va construi considerând ca elemente iniţiale defazajul faţă de axa reală *Ox* şi tensiunea de fază la consumator. Consumatorul se presupune ca având un caracter rezistiv-inductiv, având conexiunea Y. Curentul absorbit de consumator este egal cu curentul care circulă prin linie $\underline{I}_f$, fiind defazat în urma tensiunii $\underline{U}_{f2}$ cu unghiul φ. Ca urmare a trecerii curentului $\underline{I}_f$ prin linie are loc o cădere de tensiune activă pe rezistenţa liniei $R\underline{I}_f$ în fază cu curentul $\underline{I}_f$ şi o cădere de tensiune reactiv inductivă pe reactanţa inductivă $X\underline{I}$ defazată cu $\pi/2$ înaintea curentului $\underline{I}_f$.

Suma fazorială a celor două căderi de tensiune pe fază reprezintă căderea de tensiune între capetele liniei $\Delta\underline{U}_f$, respectiv

$$\Delta\underline{U}_{\mathrm{f}} = R \cdot \underline{I}_{\mathrm{f}} + \mathrm{j} \cdot X \cdot \underline{I}_{\mathrm{f}} = \underline{Z} \cdot \underline{I}_{\mathrm{f}}. \qquad (1.6)$$

Din diagrama fazorială prezentată în figura 1.5 rezultă

$$\underline{U}_{\mathrm{f}2} + \Delta\underline{U}_{\mathrm{f}} = \underline{U}_{\mathrm{f}1}, \qquad (1.7)$$

deci **căderea de tensiune** $\Delta\underline{U}_{\mathrm{f}}$ este cea dată de relaţia de definiţie *(1.4)*.

Proiectând fazorul căderii de tensiune pe axa reală *Ox*, respectiv pe axa imaginară (verticală), se obţin: componenta longitudinală a căderii de tensiune ΔU_{f} (segmentul AD), respectiv componenta transversală a căderii de tensiune δU_{f} (segmentul CD).

Prin proiectarea pe axele de coordonate ale fazorilor căderilor de tensiune activă $R\cdot\underline{I}_{\mathrm{f}}$ şi reactivă şi $\mathrm{j}\cdot X\cdot\underline{I}_{\mathrm{f}}$, pe baza relaţiilor geometrice între laturile triunghiurilor care se formează, componentele căderii de tensiune se pot exprima prin relaţiile:

$$\begin{aligned} \Delta U_{\mathrm{f}} &= R \cdot I_{\mathrm{f}} \cos\varphi + X \cdot I_{\mathrm{f}} \sin\varphi; \\ \delta U_{\mathrm{f}} &= X \cdot I_{\mathrm{f}} \cos\varphi - R \cdot I_{\mathrm{f}} \sin\varphi. \end{aligned} \qquad (1.8)$$

Exprimând curentul $\underline{I}_{\mathrm{f}}$ prin componentele sale activă I_{a} şi reactivă I_{r}, adică

$$\underline{I}_{\mathrm{f}} = I_{\mathrm{a}} + \mathrm{j} \cdot I_{\mathrm{r}} = I_{\mathrm{f}} \cos\varphi + \mathrm{j} \cdot I_{\mathrm{f}} \sin\varphi, \qquad (1.9)$$

relaţiile *(1.8)* se pot scrie sub forma:

$$\begin{aligned} \Delta U_{\mathrm{f}} &= R \cdot I_{\mathrm{a}} + X \cdot I_{\mathrm{r}}; \\ \delta U_{\mathrm{f}} &= X \cdot I_{\mathrm{a}} - R \cdot I_{\mathrm{r}}. \end{aligned} \qquad (1.10)$$

Dacă se rabate fazorul tensiunii de alimentare $\underline{U}_{\mathrm{f}1}$ peste axa reală prin arcul de cerc CE, rezultă valoarea efectivă a acestei tensiuni, respectiv segmentul OE.

Diferenţa segmentelor OE şi OA (OE–OA=**AE**), reprezentând diferenţa algebrică a valorilor efective ale tensiunilor de la capetele liniei ($U_{\mathrm{f}1}$–$U_{\mathrm{f}2}$), este tocmai **pierderea de tensiune** D*U* definită anterior. (Se cunoaşte faptul că valoarea efectivă a fazorului tensiunii la sfârşitul liniei este tocmai segmentul OA, deoarece această tensiune a fost considerată ca originea reprezentării şi plasată pe axa reală). Rezultă

$$\mathrm{D}U_{\mathrm{f}} = U_{\mathrm{f}1} - U_{\mathrm{f}2} = \mathbf{AE}. \qquad (1.11)$$

Unghiul de defazaj δ dintre cele două tensiuni $\underline{U}_{\mathrm{f}1}$ şi $\underline{U}_{\mathrm{f}2}$ se numeşte **unghi de stabilitate** şi valoarea lui este importantă pentru funcţionarea în paralel a reţelelor.

Pentru valori mici ale unghiului de defazaj δ componenta transversală a căderii de tensiune se poate neglija, iar componenta longitudinală se

identifică cu pierderea de tensiune:

$$\mathrm{D}U_{\mathrm{f}} \cong \Delta U_{\mathrm{f}}. \qquad (1.12)$$

Dacă unghiul de defazaj are valori mari, pierderea de tensiune se va calcula făcând diferenţa modulelor fazorilor tensiunilor de la capetele liniei prin relaţia:

$$\mathrm{D}U_{\mathrm{f}} = U_{\mathrm{f1}} - U_{\mathrm{f2}} = \sqrt{\left(U_{\mathrm{f2}} + \Delta U_{\mathrm{f}}\right)^2 + \delta U_{\mathrm{f}}{}^2} - U_{\mathrm{f2}}. \qquad (1.13)$$

Deoarece în reţelele electrice consumatorii sunt reprezentaţi prin puterile lor active *P* şi reactive *Q*, este utilă exprimarea în funcţie de acestea a relaţiilor *(1.10)*.

Astfel:

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U_2}; \; \delta U = \frac{PX - QR}{U_2}, \qquad (1.14)$$

unde U_2 nu mai este tensiunea de fază, ci tensiunea de linie la capătul din aval al liniei electrice analizate. S-a avut în vedere că $I_{\mathrm{a}} = \frac{P}{3U_{\mathrm{f2}}}; \; I_{\mathrm{r}} = \frac{Q}{3U_{\mathrm{f2}}}$.

În regim normal de funcţionare tensiunea la bornele consumatorului se poate considera că are valoarea efectivă egală cu tensiunea nominală (U_2=U_{n}), iar relaţiile *(1.14)* vor deveni:

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U_{\mathrm{n}}}; \; \delta U = \frac{PX - QR}{U_{\mathrm{n}}}. \qquad (1.15)$$

Căderea de tensiune pe linie ca mărime fazorială este

$$\Delta \underline{U} = \Delta U + \mathrm{j}\delta U, \qquad (1.16)$$

iar tensiunea la capătul de intrare al liniei va fi

$$\underline{U}_1 = U_2 + \Delta \underline{U} = U_{\mathrm{n}} + \Delta U + \mathrm{j} \cdot \delta U. \qquad (1.17)$$

Valoarea efectivă a tensiunii de la începutul liniei este

$$U_1 = \sqrt{\left(U_{\mathrm{n}} + \Delta U\right)^2 + \delta U^2}. \qquad (1.18)$$

Pierderea de tensiune pe linie, conform definiţiei, este

$$\mathrm{D}U = U_1 - U_2 = U_1 - U_{\mathrm{n}} = \sqrt{\left(U_{\mathrm{n}} + \Delta U\right)^2 + \delta U^2} - U_{\mathrm{n}}, \qquad (1.19)$$

iar unghiul δ se poate calcula cu relaţia

$$\mathrm{tg}\delta = \frac{\delta U}{U_{\mathrm{n}} + \Delta U}. \qquad (1.20)$$

În calculele practice, dacă se cunoaşte sau se impune valoarea pierderilor de tensiune pe linie, se poate calcula valoarea efectivă a tensiunii la începutul liniei U_1 cu relaţia

$$U_1 = U_{\mathrm{n}} + DU. \qquad (1.21)$$

Relaţiile din acest paragraf au fost stabilite în cazul unui consumator rezistiv-inductiv, iar pentru un consumator cu caracter capacitiv valorile lui I_{r}, respectiv Q din relaţiile anterioare se vor introduce cu semnul minus.

Se demonstrează[7] că între cele două valori – date de relaţiile *(1.1)* şi *(1.2)* – luate în modul, diferenţa este sub 3% din căderea de tensiune pe faza respectivă şi practic se consideră $D\underline{U}_{\mathrm{f}}=\Delta U_{\mathrm{f}}$. În continuare vom folosi atât noţiunea de cădere de tensiune, cât şi de pierdere de tensiune cu aceeaşi semnificaţie. Deci căderea de tensiune pe linie în valori raportate poate fi calculată cu relaţia

$$\Delta U\ [\%] = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_{\mathrm{n}}^{\,2}} 100. \qquad (1.22)$$

1.6.3. Determinarea puterii de calcul şi a curentului de calcul

Pentru a calcula secţiunea necesară a conductoarelor şi pentru a alege elementele de circuit în funcţie de încălzire este necesar a se cunoaşte puterea cerută (de calcul) de către un receptor, un grup de receptoare, de secţii şi ateliere sau de către o întreagă uzină.

Puterea de calcul este o valoare convenţională şi reprezintă puterea constantă medie pe o perioadă de timp în care încărcările au valorile cele mai mari şi care – transmisă printr-un element al liniei – produce o încălzire egală cu cea produsă de puterea reală variabilă în timp. Puterea de calcul este mai mică decât puterea maximă (de vârf), care – fiind de scurtă durată – nu este determinantă pentru încălzirea elementelor liniei electrice.

Pentru instalaţii deja existente puterea de calcul se poate determina utilizând curbele de sarcină.

Pentru instalaţiile noi, care urmează a fi proiectate, calculul puterii cerute se face utilizând una din următoarele metode:

a) metoda analizei directe;

[7] **Goşea, I.** *Instalaţii şi utilizări ale energiei electrice*, Ed. Universitaria, Craiova, 2001.

b) metoda coeficienţilor de cerere;
c) metoda formulei binome;
d) metoda duratei de utilizare a puterii maxime cerute.

a) Metoda analizei directe

Această metodă – de altfel cea mai precisă – se aplică atunci când numărul de receptoare nu este atât de mare încât calculele repetate să devină prea stufoase.

Puterea de calcul P_c [W] se determină utilizând puterea instalată (nominală) P_i pentru toate receptoarele din care este constituit consumatorul în discuţie, cu ajutorul coeficientului de cerere k_c:

$$P_c = k_c \cdot P_i. \qquad (1.23)$$

Acest coeficient de cerere ţine cont de încărcarea şi de randamentul receptoarelor, de simultaneitatea funcţionării lor şi de randamentul reţelei dintre receptor şi punctul în care se determină puterea de calcul cerută:

$$k_c = \frac{k_S \cdot k_{\hat{i}}}{\eta \cdot \eta_r}, \qquad (1.24)$$

unde k_S este coeficientul de simultaneitate; $k_{\hat{i}}$ – coeficientul de încărcare; η – randamentul mediu al receptoarelor; η_r – randamentul reţelei de distribuţie (alimentare).

Coeficientul de simultaneitate este raportul dintre puterea instalată a receptoarelor în funcţionare simultană P_s şi puterea totală instalată P_i:

$$k_S = \frac{P_s}{P_i}. \qquad (1.25)$$

Coeficientul de încărcare este raportul dintre puterea absorbită P_{abs} şi puterea instalată a receptoarelor aflate în funcţionare simultană P_s:

$$k_i = \frac{P_{abs}}{P_s}. \qquad (1.26)$$

Randamentul mediu al receptoarelor η se determină cu relaţia

$$\eta = \frac{\sum_{j=1}^{n} P_{sj}}{\sum_{j=1}^{n} \frac{P_{sj}}{\eta_j}}, \qquad (1.27)$$

unde P_{sj} este puterea activă a receptorului j din grupul de receptoare care funcţionează simultan; η_j – randamentul receptorului j amintit; n – numărul de receptoare care constituie consumatorul în discuţie.

Randamentul reţelei η_r are în mod obişnuit valoarea 0,98÷1,0.

Factorul de putere mediu al receptoarelor se poate determina cu relaţia

$$\cos\varphi_m = \frac{\sum_{j=1}^{n} \frac{P_{sj}}{\eta_j}}{\sum_{j=1}^{n} \frac{P_{sj}}{\eta_j \cdot \cos\varphi_j}}. \qquad (1.28)$$

Având în vedere relaţiile *(1.23)*, respectiv *(1.24)* se poate determina şi puterea reactivă cerută:

$$Q_c = P_c \cdot \mathrm{tg}\varphi_m = P_c \frac{\sqrt{1-\cos^2\varphi_m}}{\cos\varphi_m}. \qquad (1.29)$$

Puterea aparentă cerută va fi

$$S_c = \frac{P_c}{\cos\varphi_m}. \qquad (1.30)$$

Cunoscând tensiunea de linie U a sursei de alimentare şi puterea de calcul se determină curentul de calcul – pe baza căruia se va alege secţiunea conductorului – cu relaţia

$$I_c = \frac{P_c}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi_m}, \qquad (1.31)$$

Se verifică dacă secţiunea aleasă îndeplineşte celelalte criterii (la densitatea maximă a curenţilor de vârf, la pierderea de tensiune etc.).

b) Metoda coeficienţilor de cerere

Această metodă se aplică atunci când consumatorul conţine un număr mare de receptoare şi constă în utilizarea unor coeficienţi de cerere prestabiliţi pentru grupe de receptoare.

Pentru categoria de receptoare k având puterea instalată totală P_{ik}, coeficientul de cerere k_c şi factorul de putere indicaţi tabelar în literatura de specialitate se calculează puterea activă cerută P_{ck} folosind relaţia *(1.23)*.

Pentru receptoare identice din aceeaşi categorie coeficientul k_c se înlocuieşte cu k'_c, dat de relaţia

$$k'_c = k_c + \frac{1-k_c}{k_a}, \qquad (1.32)$$

unde k_a este un coeficient de influenţă, dependent de numărul de receptoare

identice din aceeaşi categorie[8] *(Tabel 1.5)*.

Tabel 1.5

Număr receptoare	4	6	10	15	20	30	40	50
k_a	1,7	2,5	3,3	4,3	5,5	8,1	9,5	10

Puterile reactive cerute corespunzătoare se determină pe categorii de receptoare, cu relaţia

$$Q_c = P_c \cdot \mathrm{tg}\varphi = P_c \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi} - 1}, \qquad (1.33)$$

unde cosφ este factorul de putere corespunzător categoriei respective de receptoare.

Se adună separat puterile active şi reactive cerute ale diferitelor categorii de receptoare şi rezultă astfel puterea cerută activă totală şi reactivă totală P_{ct}, respectiv Q_{ct}:

$$P_{ct} = \sum P_{ck} = \sum k_{ck} \cdot P_{ik}; \qquad (1.34)$$

$$Q_{ct} = \sum Q_{ck} = \sum P_{ck} \cdot \mathrm{tg}\varphi_k, \qquad (1.35)$$

unde P_{ck} este puterea activă cerută de grupa de receptoare k; k_{ck} – coeficientul de cerere pentru grupa de receptoare k; $\cos\varphi_k$ – factorul de putere pentru aceeaşi grupă de receptoare; P_{ik} – puterea instalată a tuturor receptoarelor din grupa k.

Acum se poate calcula factorul de putere corespunzător puterii totale cerute:

$$\cos\varphi_m = \frac{P_{ct}}{S_{ct}} = \frac{P_{ct}}{\sqrt{P_{ct}^2 + Q_{ct}^2}}, \qquad (1.36)$$

unde S_{ct} este puterea aparentă totală cerută.

Curentul de calcul I_c pe baza căruia se alege secţiunea conductorului se determină în sistem trifazat cu relaţia

$$I_c = \frac{P_c}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi_m}, \qquad (1.37)$$

unde $\cos\varphi_m$ este factorul de putere corespunzător puterii totale cerute, iar U – tensiunea de linie a sursei ce alimentează tronsonul de dimensionat.

Curentul admisibil în conductorul ales trebuie să fie mai mare sau egal cu curentul cerut:

[8] **Comşa, D. ş.a.** *Proiectarea instalaţiilor electrice industriale*, Ed. Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1980.

$$I_a \geq I_c. \qquad (1.38)$$

Spre exemplificare, se dimensionează şi se aleg conductoarele din aluminiu izolate dispuse în aer, pentru alimentarea trifazată a unui grup de consumatori cu următoarele date:

– grupa 1 formată din 6 aeroterme, având fiecare puterea nominală P_{i1}*=0,8 kW;*

– grupa a 2-a formată din 4 strunguri, având fiecare puterea instalată P_{i2}*=7,5 kW;*

– grupa a 3-a formată din 4 transformatoare pentru sudare, fiecare având puterea instalată P_{i3}*=10 kVA. Tensiunea de linie a reţelei este de 380 V.*

Rezolvare. *Din literatură*[9] *rezultă:*

– pentru grupa 1: k_{c1}=0,7; $tg\varphi_1$=0,75;

– pentru grupa a 2-a: k_{c2}=0,2; $tg\varphi_2$=1,35;

– pentru grupa a 3-a: k_{c3}=0,37; $tg\varphi_3$=2,65.

Aplicând relaţia (1.32) şi luând k_a *din tabelul 1.3, rezultă:*

$$k'_{c1} = 0,7 + \frac{1-0,7}{2,5} = 0,7 + \frac{0,3}{2,5} = 0,82;$$

$$k'_{c2} = 0,2 + \frac{1-0,2}{1,7} = 0,2 + \frac{0,8}{1,7} = 0,67;$$

$$k'_{c3} = 0,37 + \frac{1-0,37}{1,7} = 0,37 + \frac{0,63}{1,7} = 0,74.$$

Pentru determinarea puterii active cerute se adună puterile active cerute pe grupe de consumatori:

$$P_{ct} = k'_{c1} \cdot P_{i1} + k'_{c2} \cdot P_{i2} + k'_{c3} \cdot P_{i3} = 0,82 \cdot 6 \cdot 0,8 + 0,67 \cdot 4 \cdot 7,5 + 0,74 \cdot 4 \cdot 10 = 53,64 \text{ kW}.$$

Puterea reactivă totală cerută este

$$Q_{ct} = P_{c1} \cdot \text{tg}\varphi_1 + P_{c2} \cdot \text{tg}\varphi_2 + P_{c2} \cdot \text{tg}\varphi_2 = 3,94 \cdot 0,75 + 20,1 \cdot 1,35 + 29,6 \cdot 2,65 = 108,53 \text{ kVAr}.$$

Factorul de putere mediu determinat cu relaţia (1.36) este

$$\cos\varphi_m = \frac{53,64}{\sqrt{53,64^2 + 108,53^2}} = 0,443.$$

Curentul de calcul – determinat cu relaţia (1.31) sau (1.37) – este

$$I_c = \frac{53.640}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,443} = 183,96 \text{ A}.$$

Din literatură[10]*, se alege un cablu de aluminiu cu secţiunea conductorului pe fază de 120 mm*^{2}*. Curentul admisibil este de 191 A, deci acoperitor (pentru secţiunea imediat inferioară – 95 mm*^{2} *– curentul admisibil este 166 A).*

[9] *Manualul inginerului electrician*, vol. VII, Ed. Tehnică, Bucureşti, 1958.

[10] *Normativ pentru proiectarea şi executarea instalaţiilor electrice interioare cu tensiuni până la 1.000 V c.a. şi 1.500 V c.c.* – I 7-2009.

c) Metoda formulei binome

Această metodă – mai precisă decât metoda coeficienţilor de cerere – presupune ca receptoarele să fie repartizate pe grupe, puterea cerută determinându-se mai întâi la nivelul grupelor de receptoare. Puterea cerută de grupa *k* de *n* receptoare este dată de relaţia

$$P_{ck} = a \cdot P_x + b \cdot P_n, \qquad (1.39)$$

unde P_x este suma puterilor instalate ale primelor *x* receptoare dintr-o grupă, în ordinea descrescătoare a puterilor nominale (valoarea lui *x* este dată în literatura de specialitate[11,12]); P_n este suma puterilor instalate ale celor *n* receptoare din această categorie; *a* şi *b* sunt coeficienţi indicaţi în literatură pentru diferite categorii de receptoare[13].

Puterea cerută totală a grupelor de receptoare considerate este

$$P_{ct} = (a \cdot P_x)_{max} + \sum (b \cdot P_n), \qquad (1.40)$$

unde $(a \cdot P_x)_{max}$ este cel mai mare dintre termenii de forma $a \cdot P_x$, iar $\sum (b \cdot P_n)$ este suma tuturor termenilor corespunzători grupelor de receptoare considerate.

Puterea reactivă cerută pe grupe de receptoare, respectiv totală se calculează cu relaţia *(1.33)*, respectiv *(1.35)*. Factorul de putere medie se calculează cu relaţia *(1.36)*.

<u>Spre exemplificare</u>, se va calcula secţiunea necesară pentru o coloană de distribuţie cu 3 conductoare din aluminiu izolate cu PVC, montate în aer. Tensiunea nominală de linie a reţelei este 380 V. Consumatorii sunt constituiţi din:

– grupa 1, formată din motoare ce acţionează maşini-unelte de prelucrare la cald în serii mari şi pe bandă, compusă din 8 motoare de putere nominală individuală de 1,5 kW, 5 motoare de putere nominală individuală de 2,5 kW şi 2 motoare de putere individuală de 7,5 kW;

– grupa a 2-a, formată din poduri rulante în turnătorii, compusă din 8 motoare cu putere instalată individuală de 30 kW şi 2 motoare cu putere nominală individuală de 75 kW.

Rezolvare. *Din literatură*[14] *rezultă:*

– pentru grupa 1: $x_1=5$; $a_1=0,5$; $b_1=0,26$; $\cos\varphi=0,65$ ($tg\varphi=1,17$);

– pentru grupa a 2-a: $x_2=3$; $a_2=0,3$; $b_2=0,09$; $\cos\varphi=0,5$ ($tg\varphi=1,73$).

Pentru cele două grupe de consumatori puterea cerută se calculează astfel:

[11] **Centea, O., Bianchi, C.** *Instalaţii electrice*, Ed. Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1973.
[12] *Manualul inginerului electrician*, vol. VII, Ed. Tehnică, Bucureşti, 1958.
[13] Idem 11, 12.
[14] Idem 12.

$$P_{c1} = (a_1 P_5)_1 + (b_1 P_{i15})_1 = 0{,}5(2 \cdot 7{,}5 + 3 \cdot 2{,}5) + 0{,}26(2 \cdot 7{,}5 + 5 \cdot 2{,}5 + 8 \cdot 1{,}5) =$$

$$= 11{,}25 + 10{,}27 = 21{,}52\,\text{kW};$$

$$P_{c2} = (a_2 P_3)_2 + (b_2 P_{i10})_2 = 0{,}3(2 \cdot 75 + 1 \cdot 30) + 0{,}09(2 \cdot 75 + 8 \cdot 30) = 54{,}0 + 35{,}1 = 89{,}1\,\text{kW}.$$

Puterea activă totală cerută se calculează cu relaţia (1.40):

$$P_{ct} = (a \cdot P_x)_{max} + \sum (b \cdot P_n) = 54 + 10{,}27 + 35{,}1 = 99{,}37\,\text{kW}.$$

Puterile reactive cerute sunt:

$$Q_{c1} = P_{c1} \cdot \text{tg}\varphi_1 = 21{,}52 \cdot 1{,}17 = 25{,}18\,\text{kVAr};$$

$$Q_{c2} = P_{c2} \cdot \text{tg}\varphi_2 = 89{,}1 \cdot 1{,}73 = 154{,}52\,\text{kVAr};$$

$$Q_{ct} = Q_{c1} + Q_{c2} = 25{,}18 \cdot 154{,}52 = 179{,}7\,\text{kVAr}.$$

Factorul de putere mediu se determină cu relaţia (1.36):

$$\cos\varphi_m = \frac{P_{ct}}{\sqrt{{P_{ct}}^2 + {Q_{ct}}^2}} = \frac{99{,}37}{\sqrt{99{,}37^2 + 179{,}7^2}} = 0{,}483.$$

Curentul de calcul corespunzător se determină cu relaţia (1.31):

$$I_c = \frac{P_c}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi_m} = \frac{99{,}37}{\sqrt{3} \cdot 0{,}38 \cdot 0{,}483} = 312\ \text{A}.$$

Din literatură[15] *se aleg două cabluri de aluminiu în paralel cu secţiunea conductoarelor pe fază de 95 mm*^{2}*. Curentul admisibil pe conductorul unui cablu este de 166 A, deci curentul 2·166=332 A este acoperitor.*

d) Metoda duratei de utilizare a puterii maxime cerute

Această metodă este aproximativă şi poate fi folosită numai pentru o primă determinare a puterii cerute de o unitate economică, înainte de a se întocmi proiectul instalaţiilor electrice. Ea se bazează pe cunoaşterea consumului specific de energie pe o unitate e produs.

Consumul anual de energie activă E_a al unităţii economice este dat de relaţia

$$E_a = E_{a0} \cdot A, \qquad (1.41)$$

unde E_{a0} este consumul specific de energie activă pe unitate de produs, în [kWh/buc., tonă etc.], iar A este producţia anuală a unităţii, în [buc., tone etc.].

Puterea cerută (de calcul) se determină cu relaţia

$$P_c = \frac{E_a}{T_u}, \qquad (1.42)$$

unde T_u este timpul de utilizare a puterii maxime cerute, în [h].

Cu ajutorul acestei metode se poate determina puterea aparentă

[15] *Normativ pentru proiectarea şi executarea instalaţiilor electrice interioare cu tensiuni până la 1.000 V c.a. şi 1.500 V c.c.* – I 7-2009.

necesară alegerii transformatorului/transformatoarelor necesare alimentarii unităţii economice.

1.6.4. Verificarea secţiunii la densitatea maximă a curenţilor de vârf

Pentru evitarea încălzirii excesive a conductoarelor este necesar ca densitatea curenţilor de vârf (curenţii de pornire ş.a.) să nu depăşească anumite valori[16]:

- pentru conductoare din cupru 35 A/mm^2;
- pentru conductoare din aluminiu 20 A/mm^2.

Densitatea de curent J_p la pornirea motoarelor se determină cu relaţia

$$J_p = \frac{I_p}{S}, \qquad (1.43)$$

unde I_p este curentul de pornire, în [A], S – secţiunea conductorului, în [mm^2].

La motoarele cu rotorul în scurtcircuit, la pornirea directă curentul de pornire este

$$I_p = (6 \div 8) I_n, \qquad (1.44)$$

I_n fiind curentul nominal, în [A].

La motoarele cu rotorul în scurtcircuit cu pornire prin comutare stea-triunghi curentul de pornire este

$$I_p \cong 2{,}7 \cdot I_n. \qquad (1.45)$$

La motoarele cu rotor bobinat curentul de pornire este

$$I_p = 1{,}6 \cdot I_n. \qquad (1.46)$$

În cazul în care densitatea de curent depăşeşte valoarea admisibilă se alege o secţiune superioară a conductorului, folosind relaţia

$$S \geq \frac{I_p}{J_{adm}}. \qquad (1.47)$$

1.6.5. Stabilirea curentului nominal al fuzibilelor şi a curentului de acţionare al întreruptoarelor automate

Pentru alegerea siguranţelor fuzibile ale circuitelor se pun anumite

[16] Idem 15.

condiţii, determinate de regimurile posibile:

– pentru regim permanent

$$I_{\text{cond}} \geq I_{\text{F}} \geq I_{\text{c}}, \qquad (1.48)$$

în care I_{cond} este curentul maxim admis prin conductor, I_{F} curentul nominal al fuzibilului, iar I_{c} este curentul de calcul – determinat prin una dintre metodele mai sus prezentate.

– pentru regim variabil întâlnit la pornirea motoarelor

$$I_{\text{cond}} \geq I_{\text{F}} \geq \frac{I_{\text{p}}}{k}, \qquad (1.49)$$

unde I_{p} este curentul maxim (de vârf) la pornirea motoarelor; k este un coeficient de siguranţă, egal cu 2,5 pentru porniri uşoare (5÷10 s) şi cu 1,5 pentru porniri grele (10÷40 s).

Releele electromagnetice care acţionează asupra întreruptorului automat se reglează la un curent de acţionare I_{a} dat de relaţia

$$I_{\text{a}} \geq 1{,}2 \cdot I_{\text{p}}. \qquad (1.50)$$

1.6.6. Verificarea secţiunii conductorului la pierderea de tensiune

Pentru a asigura funcţionarea în bune condiţii a consumatorilor pierderea (căderea) de tensiune datorită rezistenţelor şi reactanţelor conductoarelor nu trebuie să depăşească anumite valori[17] (vezi şi *Tabel 1.4*).

Pierderea de tensiune raportată este dată de relaţia

$$\Delta U\,[\%] = \frac{U_1 - U_2}{U_{\text{n}}} 100, \qquad (1.51)$$

unde U_1 este tensiunea la începutul liniei, U_2 este tensiunea la capătul liniei (la consumator), iar U_{n} este tensiunea nominală a liniei. Această relaţie se aplică atunci când se cunosc U_1, U_2 şi U_{n}, deci pentru o linie existentă.

Pentru o linie ce se proiectează calculul căderii de tensiune se face cu relaţia *(1.19)*, adică $\Delta U\,[\%] = \frac{PR + QX}{U_{\text{n}}^{\,2}} 100.$ în care R şi X sunt rezistenţa, respectiv reactanţa liniei de alimentare (distribuţie) – dimensionată cu una dintre metodele mai sus prezentate, iar P şi Q sunt puterea activă, respectiv reactivă transmise prin linia respectivă.

Calculul pierderii de tensiune se face pe traseul cel mai lung şi cel mai

[17] **Comşa, D.** *Utilizările energiei electrice*, Ed. Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1973.

încărcat, începând de la tabloul general sau racord, până la cel mai îndepărtat consumator. În cazurile în care pierderea de tensiune efectivă depăşeşte pe cea admisibilă se majorează secţiunile conductoarelor cu o treaptă şi se reia calculul de verificare, până când căderea de tensiune se încadrează în valorile prescrise.

Capitolul 2. ILUMINATUL ELECTRIC. GENERALITĂŢI

Activitatea omului este condiţionată în mare măsură de lumină. De aceea, continuarea activităţii atunci când lumina naturală este insuficientă sau lipseşte complet reclamă introducerea iluminatului artificial.

În etapa actuală, iluminatul artificial este asigurat aproape în totalitate de către iluminatul electric. Prima sursă electrică de lumină – creată de Edison – avea ca element activ un filament de cărbune, fiind deci o lampă electrică cu incandescenţă. La începutul secolului XX s-a descoperit fenomenul de luminescenţă la descărcările în gaze, dar folosirea practică a acestuia nu avea atunci o eficienţă care să-l facă aplicabil. Descoperirea luminoforului şi folosirea acestuia la tuburile cu descărcare electrică în gaze a făcut posibilă folosirea acestora în tehnica iluminatului.

Iluminatul electric trebuie să realizeze un anumit nivel de iluminare şi în acelaşi timp un anumit grad de confort vizual.

Tendinţa actuală în tehnica iluminatului electric o constituie trecerea de la proiectarea instalaţiilor de iluminat pe bază de iluminare la proiectarea pe bază de luminanţă, mărime care influenţează direct ochiul omenesc. În instalaţiile noi de iluminat se studiază şi compoziţia spectrală a radiaţiei luminoase, legată de culorile suprafeţelor şi obiectelor iluminate, avându-se în vedere influenţa psihologică şi fiziologică a mediului ambiant asupra omului.

În scopul obţinerii unor nuanţe ale luminii artificiale apropiate de lumina naturală, s-au construit diverse tipuri de surse luminoase şi corpuri de iluminat.

În ţara noastră se produc surse şi corpuri de iluminat la firmele „Romlux“ Târgovişte, „Steaua Electrică“ Fieni, „Luxten“ Bucureşti, „Elba“ Timişoara etc.

2.1. Lumina şi ochiul omenesc

Capacitatea de a vedea este determinată de un lanţ de procese, constituit din organul vederii – ochiul, nervii optici şi centrii optici din creier.

2.1.1. Ochiul omenesc

În figura 2.1 este prezentată o secţiune orizontală prin ochiul uman. Elementele care contribuie la obţinerea percepţiei vizuale pot fi grupate după cum urmează.

– **Sistemul optic,** format din corneea transparentă, cristalin şi pupilă are rolul de a realiza imaginea vizuală (răsturnată) pe retină, indiferent de distanţa la care se află obiectul privit.

Corneea determinată refractarea radiaţiei luminoase incidente.

Cristalinul, care este o lentilă biconvexă deformabilă, îndeplineşte funcţia de acomodare a sistemului optic, prin varierea razelor de curbură, permiţând focalizarea imaginii pe retină. Cristalinul este transparent pentru radiaţia vizibilă şi opac pentru radiaţia ultravioletă.

Pupila are rolul de a limita fluxul luminos incident, cu ajutorul irisului, care îşi modifică permanent diametrul. Acesta – sub acţiunea muşchilor ciliari – se modifică de la cca 2 mm (lumină puternică, $L>10^3$ cd/m^2) la cca 8 mm (în întuneric, $L<10^{-5}$ cd/m^2).

– **Elementele fotosensibile** (fotoreceptoare) sunt elemente sensibile la lumină, de forma unor bastonaşe şi conuri, distribuite neuniform.

Conurile sunt concentrate pe partea centrală a retinei (**pata galbenă**), care este zona vederii clare – diurnă (fotopică). Prin intermediul lor se disting atât formele obiectelor, cât şi culorile. Conform teoriei tricromatice a vederii, pe retină există trei tipuri de conuri, fiecare reacţionând preponderent la una dintre culorile fundamentale (roşu, verde, albastru) din spectrul radiaţiei incidente.

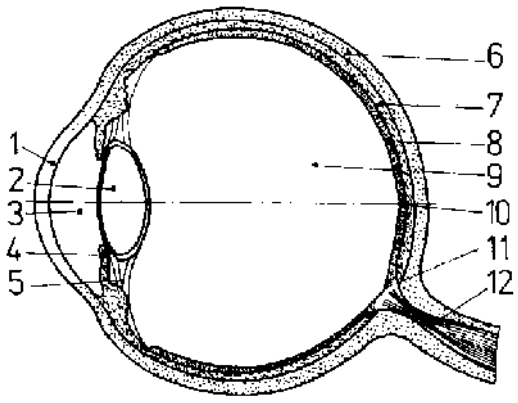


Fig. 2. 1 Secţiune orizontală prin ochiul uman: 1 – corneea (transparentă); 2 – cristalinul („lentila“); 3 – camera anterioară a ochiului; 4 – iris; 5 – corpul ciliar; 6 – stratul sclerotic; 7 – învelişul dur; 8 – retina; 9 – humoarea vitroasă; 10 – foveea centralis; 11 – papila optică; 12 – nervul optic.

Obţinerea senzaţiei vizuale cromatice prin recompunerea stimulului de culoare este rezultatul proceselor fiziologice care au loc în organul vederii.

Bastonaşele, preponderente către extremităţile zonei centrale, asigură vederea nocturnă (scotopică), la luminanţe mici (câteva sutimi de candelă/m^2). Acestea nu realizează o percepţie cromatică, ci doar sub formă de alb-gri-negru, ceea ce explică imprecizia şi lipsa de culoare a vederii nocturne.

Conurile, împreună cu bastonaşele, asigură vederea crepusculară (mezopică), intermediară între vederea diurnă şi cea nocturnă. Retina poate fi considerată un fotoelement complet, în care au loc reacţii fotochimice, la care iau parte substanţele conţinute în bastonaşe (rodopsina) şi în conuri (iodopsina).

Imaginea optică este transformată în biocurenţi sub formă de impulsuri, care sunt transmise de către nervii optici spre creier.

– **Elementele de transmitere şi interpretare a informaţiei** primite din exterior sunt nervii optici şi creierul, în acesta din urmă informaţia primită fiind prelucrată, transformată, înregistrată şi înmagazinată sub forma imaginii văzute.

2.1.2. Percepţia vizuală

Adaptarea vizuală constă în capacitatea ochiului uman de a se adapta la diverse luminanţe receptate.

Adaptarea vizuală este un proces tranzitoriu, determinat atât de caracteristicile stimulului luminos cât şi de starea organului vederii (sensibilitatea retinei, a nervului optic şi a centrilor vederii din scoarţa cerebrală). Adaptarea necesită un anumit timp mai scurt pentru adaptarea de la întuneric (obscuritate) la lumină şi mai lung (15-30 minute) pentru adaptarea de la lumină la întuneric. Adaptarea la lumină se realizează şi prin reflexul pupilar (modificarea diametrului pupilei). Întârzierea în cazul adaptării pupilare este de circa 1 secundă.

Adaptarea cromatică (adaptarea la o anumită culoare a luminii) este o proprietate a vederii ochiului uman de a se adapta la culoarea luminii ambientale.

Cu alte cuvinte, în lipsa posibilităţii de comparaţie, diferenţele de redare a culorilor obiectelor, ca rezultat al compoziţiei spectrale a radiaţiei surselor de lumină, sunt mai mult sau mai puţin estompate (memoria jucând un rol important în acest fenomen).

Complexul de senzaţii care reflectă ansamblul proprietăţilor obiectelor sau fenomenelor observate este denumit **percepţie vizuală**, organul vederii putând să realizeze concomitent perceperea luminii (diferenţierea intensităţilor luminoase), perceperea formelor obiectelor şi perceperea culorilor.

Acomodarea sistemului optic al ochiului reprezintă adaptarea ochiului la distanţă, astfel încât imaginea unui obiect să se formeze clar pe retină, şi este realizată de către cristalin, prin modificarea razelor sale de curbură, cu ajutorul muşchilor ciliari. Acomodarea se realizează spontan (reflex).

Fenomenul de orbire constă într-un ansamblu de dereglări ocazionale în aparatul vizual, aflat într-o anumită stare de adaptare.

Procesul vederii este caracterizat printr-o căutare continuă a unei stări de echilibru prin fenomenul de adaptare. Capacitatea de adaptare la luminanţă a ochiului nu este nelimitată. Atât luminanţele excesive cât şi diferenţele de luminanţă în câmpul vizual (în spaţiu sau în timp) fac perceperea dificilă, conducând la perturbarea vederii.

Această perturbare a vederii poartă numele de **fenomen de orbire**.

Raportul CIE 19 arată că un observator a cărui privire părăseşte obiectul observării timp de 15 secunde, privind o altă suprafaţă cu o luminanţă de 10 ori mai mare, capacitatea vizuală îi scade cu 25%[18].

Acuitatea vizuală (sau precizia percepţiei vizuale) se defineşte din două puncte de vedere:

– calitativ – prin capacitatea de distingere a două obiecte (puncte) foarte apropiate;

– cantitativ - prin unghiul sub care obiectul (detaliul) se vede de la ochiul observatorului. Acuitatea vizuală cantitativă se determină raportând dimensiunile liniare ale detaliului la distanţa dintre obiect şi ochi. Pentru o distanţă de 0,33-0,35 m – considerată normală – o dimensiune liniară de 0,1 mm este echivalentă cu un minut unghiular.

O altă exprimare a acuităţii vizuale din punct de vedere cantitativ constă în inversul unghiului vizual corespunzător celui mai mic obiect perceptibil, sau prin inversul distanţei unghiulare între două puncte sau linii pe care ochiul începe să le perceapă ca fiind separate. Distanţa unghiulară este dată în general în minute de arc.

Acuitate vizuală depinde de:

– prezenţa sau absenţa unor factori perturbatori (cei care implică orbirea);
– timpul de expunere al obiectului;
– contrastul dintre obiect şi fond;
– luminanţa câmpului vizual.

Acuitatea creşte odată cu creşterea contrastului dintre obiect şi fond, şi – în anumite limite – cu creşterea valorii luminanţei la care ochiul este adaptat.

[18] **Bianchi, C., ş.a.** *Sisteme de iluminat interior şi exterior*, Ed. Matrix Rom, Bucureşti, 2001.

2.1.3. Câmpul vizual

Câmpul vizual este constituit din porţiunea de spaţiu care poate fi privită când capul şi ochii sunt imobili. Conform SR 13433-1999, câmpul vizual este zona unghiulară spaţială în care un obiect poate fi perceput când observatorul priveşte axial înainte. Este delimitat de un unghi orizontal de 2×90º, de un unghi vertical superior de 50-60º şi un unghi vertical inferior de 60-70º.

Câmpul vizual poate fi subdivizat în:

– câmpul vizual direct (central) - un con central cu un unghi de deschidere mic (2×10º), în interiorul căruia are loc o percepere netă a detaliilor, precum şi perceperea culorilor (imaginea se formează în partea centrală a retinei, unde densitatea conurilor este mare);

– fondul - o zonă unghiulară spaţială cu o deschidere de circa 40º (2×25º pe orizontală şi 2×20º pe verticală), în interiorul căreia nu este posibilă o percepere netă a detaliilor (imaginile sunt voalate) şi nici perceperea perfectă a culorilor (imaginea se formează în porţiunea retinei în care numărul de conuri este redus).

2.2. Radiaţii luminoase

Ochiul uman este impresionat de radiaţia luminoasă, care de fapt este o radiaţie electromagnetică cu lungimea de undă între 0,38 şi 0,76 μm.

Reprezentarea radiaţiilor electromagnetice după lungimea de undă se numeşte spectrul radiaţiilor electromagnetice (*Fig. 2.2*).

Radiaţiile luminoase ocupă un domeniu redus în spectrul electromagnetic, cuprinzând lungimile de undă între λ=0,38 μm şi λ=0,76 μm (*Fig. 2.3*).

Radiaţiile vizibile de o anumită lungime de undă sunt denumite radiaţii monocromatice şi produc asupra ochiului senzaţia unei anumite nuanţe de culoare (*Fig. 2.3*).

Spectrul vizibil – obţinut cu ajutorul unei prisme transparente – are următoarele limite aproximative:

– violet: λ=380÷436 μm;
– albastru: λ=437÷495 μm;
– verde: λ=496÷566 μm;
– galben: λ=567÷589 μm;
– oranj: λ=590÷627 μm;
– roşu: λ=628÷760 μm.

Lumina este caracterizată prin mărimi energetice, evaluate cu ajutorul unităţilor de măsură energetice, şi prin mărimi fotometrice, evaluate cu

ajutorul unităţilor de măsură fotometrice.

Mărimile fotometrice sunt de fapt mărimi fizico-fiziologice.

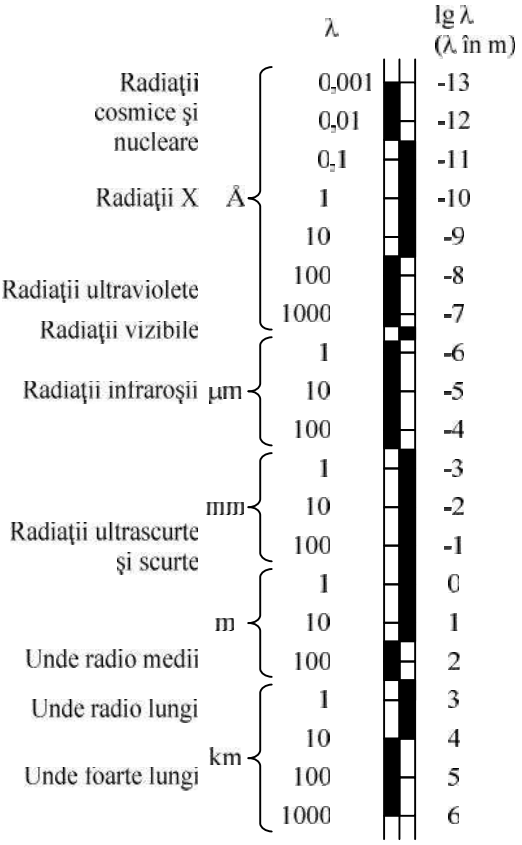


Fig. 2. 2 Spectrul radiaţiilor electromagnetice.

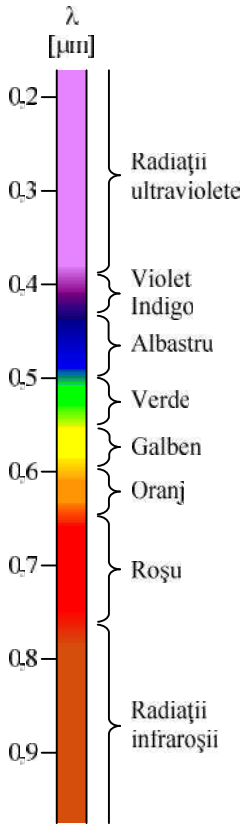


Fig. 2. 3 Spectrul vizibil – poziţia culorilor.

2.3. Mărimi şi unităţi fotometrice

Lumina este acea parte din radiaţia electromagnetică ce impresionează retina ochiului omenesc, producând senzaţii luminoase. Radiaţiile electromagnetice sunt caracterizate prin lungimea de undă λ şi frecvenţa *f*, între acestea existând relaţia

$$\lambda = \frac{c}{f}\ [\mathrm{m}], \qquad (2.1)$$

c fiind viteza luminii în vid ($c \cong 3 \cdot 10^8$ m/s), iar *f* este frecvenţa [Hz].

2.3.1. Fluxul energetic sau puterea radiantă a unei surse

Radiaţiile emise de un corp sunt caracterizate prin putere, care este energia radiată în unitate de timp de către acel corp. Dacă se reprezintă puterile radiate ale unei surse, pentru diferite lungimi de undă, se obţine o curbă spectrală, numită spectru de radiaţie. Acesta poate fi **spectru continuu** (*Fig. 2.4*), sau **spectru discontinuu** (*Fig. 2.5*).

Fluxul energetic (puterea radiantă) Φ_e a unei surse de lumină cu spectru discontinuu este egal(ă) cu suma puterilor radiaţiilor monocromatice componente:

$$\Phi_e = P = P_{\lambda 1} + P_{\lambda 2} + ... + P_{\lambda n} = \sum_{i=1}^{n} P_{\lambda i}, \qquad (2.2)$$

n fiind numărul lungimilor de undă ce caracterizează spectrul discontinuu.

Pentru sursele cu spectru continuu, puterea radiantă se obţine calculând integrala

$$\Phi_e = P = \int_0^{\infty} P_\lambda \cdot d\lambda. \qquad (2.3)$$

Unitatea de măsură a fluxului energetic este **watt-ul** [W], iar pentru P_λ unitatea de măsură este **watt-ul pe metru** [W/m].

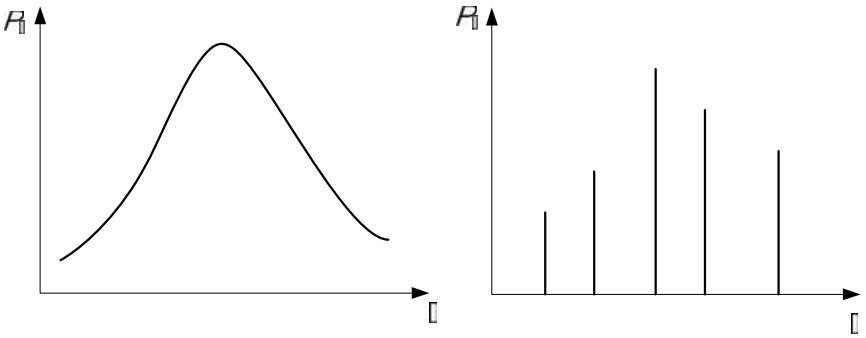


Fig. 2. 4 Spectru de emisie continuu. *Fig. 2. 5 Spectru de emisie discontinuu.*

2.3.2. Fluxul luminos

Sensibilitatea ochiului nu este aceeaşi pentru diferitele lungimi de undă ale radiaţiilor.

Sensibilitatea este maximă – pentru un ochi normal – la o radiaţie cu lungimea de undă 0,555 μm (verde). Se defineşte ca vizibilitate relativă V_λ a ochiului, pentru lungimea de undă λ, raportul dintre puterea corespunzătoare

agentului excitant pentru lungimea de undă de 0,555 μm şi puterea necesară pentru lungimea de undă λ, în condiţiile aceleaşi intensităţi a senzaţiei vizuale:

$$V_\lambda = \frac{P_{0,555}}{P_\lambda} \qquad (2.4)$$

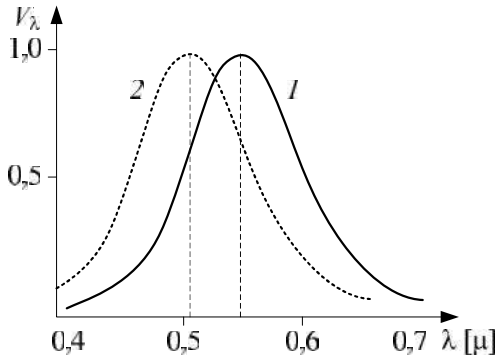


Fig. 2. 6 Curba $V_a = f(\lambda)$ pentru cazul vederii diurne – 1; cazul vederii nocturne – 2.

Curba vizibilităţii relative este binecunoscută, şi în România este standardizată în STAS 740-67, înlocuit cu STAS 737/11-74 (*Fig. 2.6*).

Vederea diurnă şi cea nocturnă se diferenţiază datorită tipurilor de celule: conuri şi bastonaşe. Vederea diurnă (fotopică) este determinată în special de conuri, iar cea nocturnă (scotopică) de bastonaşe.

Pentru vederea diurnă (fotopică) standardul amintit şi CIE[19] stabilesc curba *1* din figura 2.6, care are maximumul corespunzător lungimii de undă de $555 \cdot 10^{-9}$ m.

Pentru vederea nocturnă (scotopică) este stabilită curba *2* din figura 2.6, care are maximumul corespunzător lungimii de undă de $507 \cdot 10^{-9}$ m.

Se defineşte vederea mezopică[20], cea care corespunde mediei celor două curbe ale vizibilităţii relative spectrale a ochiului uman.

Fluxul luminos al unei surse este puterea radiantă a acelei surse, evaluată după senzaţia luminoasă pe care o produce.

Fluxul luminos este legat de puterea radiantă (flux energetic Φ_e) prin curba vizibilităţii relative a ochiului normal. Fluxul luminos monocromatic Φ_λ este dat de relaţia

$$\Phi_\lambda = P_\lambda \cdot V_\lambda \, . \qquad (2.5)$$

O sursă care ar emite pe lungimile de undă λ_1, λ_2,... λ_n, puterile $P_{\lambda 1}$, $P_{\lambda 2}$,... $P_{\lambda n}$, ar produce asupra ochiului aceeaşi senzaţie ca şi a unei surse care ar emite pe lungimea de undă de 0,555 μm o putere dată de relaţia

[19] Comission Internationale d'Eclairage – Comisia Internaţională de Iluminat, www.cie.co.at.
[20] **Bianchi, C. ş.a.** *Sisteme de iluminat interior şi exterior*, Ed. Matrix Rom, Bucureşti, 2001.

$$\Phi = \sum_{i=1}^{n} V_{\lambda i} \cdot P_{\lambda i} \,. \qquad (2.6)$$

În cazul unei surse cu spectru continuu, relaţia (2.6) devine:

$$\Phi = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} V_{\lambda} \cdot P_{\lambda} \cdot d_{\lambda} \,. \qquad (2.7)$$

Vizibilitatea relativă pentru lungimea de undă de 0,555 μm fiind egală cu unitatea, mărimea dată de relaţia (2.6), respectiv (2.7) reprezintă tocmai fluxul luminos al sursei cu spectru discontinuu, respectiv continuu. Unitatea de măsură a fluxului luminos este un watt radiat pe lungimea de undă de 0,555 μm, numită **watt-luminos** [Wl].

În sistemul internaţional (SI) unitatea de măsură pentru flux este **lumenul** [lm], un watt luminos fiind egal cu 683 lm. Din acest motiv, fluxul luminos se poate exprima cu relaţiile:

– $\Phi = 683 \sum_{i=1}^{n} V_{\lambda i} \cdot P_{\lambda i}$ – *pentru spectru discontinuu;* *(2.8)*

– $\Phi = 683 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} V_{\lambda} \cdot P_{\lambda} \cdot \mathrm{d}_{\lambda}$ – *pentru spectru continuu.* *(2.9)*

Lumenul este fluxul luminos emis în unitatea de unghi solid (steradian) de o sursă punctiformă şi uniformă, având intensitatea de o candelă.

Observaţie: *până în anul 1977, factorul de conversie între mărimile fotometrice şi energetice era stabilit la 680 lumeni/watt. Începând cu acel an, Comitetul Internaţional de Măsuri şi Greutăţi a adoptat valoarea de 683 lumeni/watt.*

Mărimea fundamentală în fotometrie este fluxul luminos, dar realizarea unui etalon de flux luminos este dificilă şi din acest motiv s-a ales ca mărime fundamentală în SI o mărime derivată – intensitatea luminoasă, a cărui etalon a putut fi realizat experimental în condiţii corespunzătoare.

2.3.3. Intensitatea luminoasă *I*

Radiaţiile electromagnetice care formează fluxul luminos se propagă în linie dreaptă, pornind de pe suprafaţa sursei. Repartizarea fluxului luminos nu este uniformă în toate direcţiile. Intensitatea luminoasă este mărimea care caracterizează distribuţia fluxului luminos în spaţiu.

Pentru o sursă punctiformă, intensitatea luminoasă într-o direcţie dată este definită ca fiind raportul dintre fluxul luminos $d\Phi$, emis într-un unghi solid elementar în jurul acelei direcţii, şi valoarea $d\Omega$ a acelui unghi solid, astfel:

$$I_\alpha = \frac{\mathrm{d}\,\Phi}{\mathrm{d}\,\Omega}. \qquad (2.10)$$

Unitatea de măsură pentru intensitatea luminoasă este **candela** [cd], unitate fundamentală în SI, fiind definită (până în anul 1979) astfel: candela este intensitatea luminoasă după direcţia normală a unei suprafeţe de 1/600.000 m^2 de corp negru (radiator integral), la temperatura de solidificare a platinei (T=2046,5 K), la presiunea de 101.325 N/m^2. În anul 1979, având în vedere că mai existau divergenţe între rezultatele obţinute de diverse laboratoare cu privire la realizarea candelei cu ajutorul corpului negru, Conferinţa Generală de Măsuri şi Greutăţi a adoptat următoarea definiţie: **candela este intensitatea luminoasă într-o direcţie dată a unei surse care emite o radiaţie monocromatică cu frecvenţa de 540·10^{12} Hz (0,555 μm) şi a cărei intensitate energetică, în această direcţie, este** $\frac{1}{683}$ **watt/steradian.** Cu această ocazie, celelalte definiţii au fost abrogate.

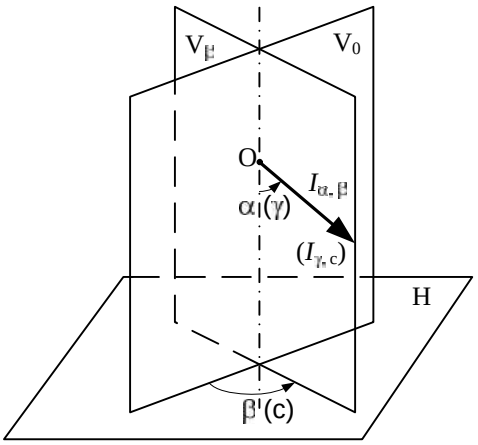


Fig. 2. 7 Reprezentarea intensităţii luminoase în coordonate polare.

Intensitatea luminoasă având mărime, direcţie şi sens, este o mărime vectorială. Intensitatea luminoasă $I_{\alpha\beta}$ se exprimă în coordonate polare (*Fig. 2.7*), depinzând de:

– unghiul α (γ), care este unghi de înălţime (altitudine), considerat într-un plan vertical şi măsurat de la axa verticală a sursei de lumină O, până la vectorul ce reprezintă intensitatea luminoasă, şi

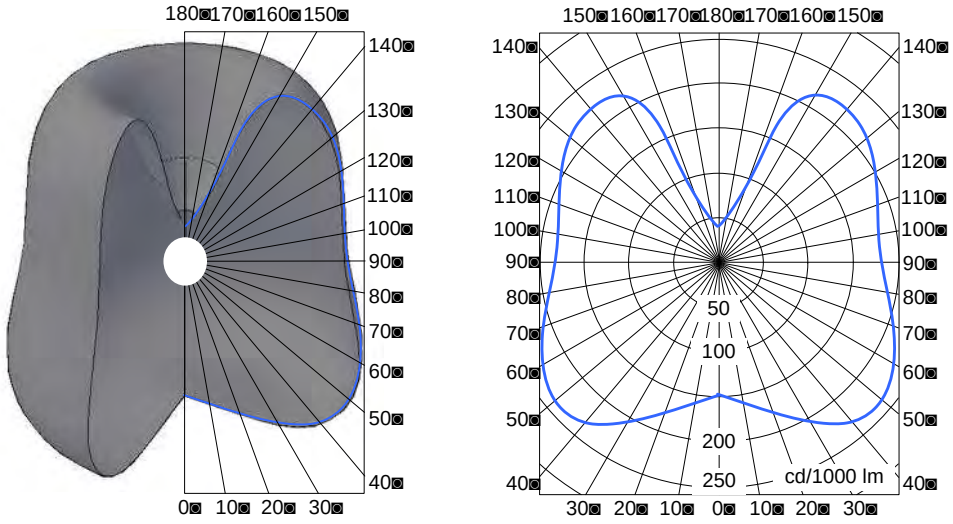
– unghiul β (c), numit azimut, considerat în planul orizontal H şi măsurat între planul de referinţă V_0 şi planul vertical V_β, plan ce conţine vectorul $I_{\alpha,\beta}$, care reprezintă **intensitatea luminoasă.**

Dacă sursa este simetrică faţă de axa verticală, atunci intensitatea luminoasă va depinde numai de unghiul de înălţime α, distribuţia intensităţii luminii fiind aceeaşi în orice plan V_β pentru aceeaşi valoare a unghiului α.

În general, intensitatea luminoasă a unei surse variază cu direcţia în spaţiu. Pentru a reprezenta repartiţia în spaţiu a intensităţii luminoase a unei surse se foloseşte **suprafaţa fotometrică**, suprafaţă constituită ca loc geometric al vârfurilor vectorilor care, la o anumită scară, reprezintă intensităţile luminoase pe diferite direcţii. Volumul închis de către această suprafaţă constituie **corpul fotometric**, iar intersecţia suprafeţei fotometrice

cu un plan care trece prin centrul sursei de lumină reprezintă **curba fotometrică** (*Fig. 2.8*).

Curba fotometrică este redată pentru o sursă convenţională cu un flux luminos de 1.000 lm. Pentru altă valoare a fluxului, intensităţile rezultate din curba fotometrică se multiplică cu raportul dintre fluxul luminos real al sursei luminoase şi 1.000.



a) *b)*

Fig. 2. 8 Repartiţia intensităţii luminoase: a) suprafaţă fotometrică; b) curbă fotometrică.

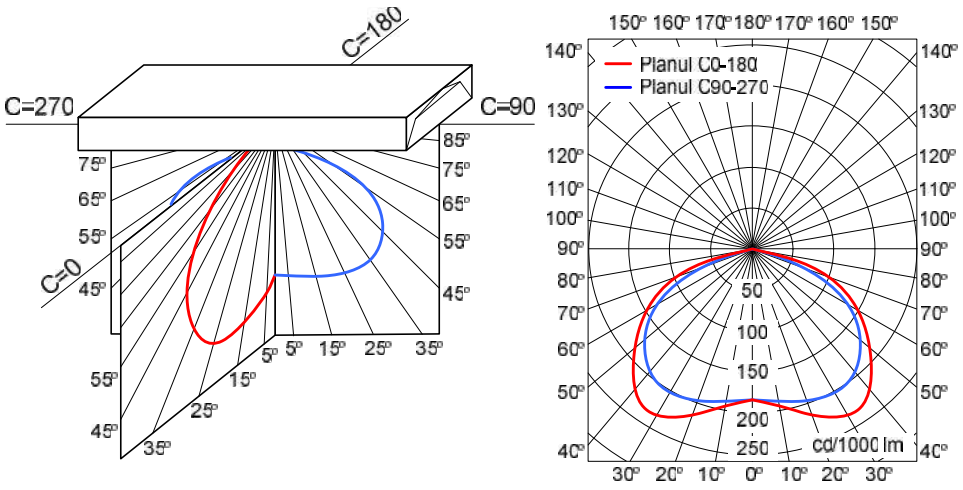


Fig. 2. 9 Curbele fotometrice în planele C0-180 şi C90-270: a) reprezentare ortogonală; b) reprezentare în acelaşi plan.

Curbele fotometrice sunt determinate atât pentru surse de lumină, cât şi pentru corpuri de iluminat echipate cu surse de lumină. Deoarece corpurile de iluminat modifică distribuţia fluxului luminos în spaţiu, curbele fotometrice pentru cele două situaţii diferă.

În figura 2.9 este reprezentat un aparat de iluminat (sau **c**orp de **il**uminat – CIL) care are două axe de simetrie. Una dintre axe este cuprinsă în planul C90-270, care conţine şi axa longitudinală a corpului de iluminat, iar a doua axă este cuprinsă în planul C0-180, care conţine şi axa de simetrie transversală a corpului de iluminat.

2.3.4. Iluminarea *E*

Iluminarea este definită de către unii autori ca densitate de flux luminos pe suprafaţă receptoare.

Corpurile care nu sunt surse de lumină, pentru a fi văzute trebuie să fie iluminate de către o sursă de lumină exterioară. Modul în care sunt iluminate corpurile este caracterizat prin mărimea fotometrică numită **iluminare**. Iluminarea unei suprafeţe într-un punct al ei este raportul dintre fluxul luminos $d\Phi$ primit de către o suprafaţă elementară din jurul punctului şi aria acelei suprafeţe dS_2:

$$E = \frac{d\Phi}{dS_2}. \qquad (2.11)$$

Unitatea de măsură a iluminării în SI este **luxul** [lx], definit ca iluminarea unei suprafeţe care primeşte un flux luminos de un lumen, uniform repartizat, pe o suprafaţă de 1 m^2. Iluminarea unei suprafeţe evidenţiază cantitativ calitatea unei instalaţii de iluminat, referitoare la o suprafaţă receptoare. Iluminarea unei suprafeţe, datorată Soarelui în timpul verii, este mai mare de 100.000 lx, cerul noros asigură o iluminare de 200…10.000 lx, iar lumina Lunii, noaptea, asigură o iluminare mai mică de 0,25 lx.

Într-un laborator, instalaţia de iluminat trebuie să asigure o iluminare mai mare de 300 lx.

Pentru calculul iluminării într-un punct P al unei suprafeţe (orizontale) – *Fig. 2.10*, de către o sursă considerată punctiformă O, se poate folosi intensitatea luminoasă I_α în direcţia punctului P (suprafeţei elementare dS_2). Dacă normala la suprafaţa dS_2 face cu direcţia OP unghiul α, unghiul solid elementar sub care se vede suprafaţa dS_2 este

$$d\Omega = \frac{dS_2 \cos\alpha}{r^2}, \qquad (2.12)$$

unde r=OP.

Având în vedere relaţia *(2.10)*, iluminarea în punctul P poate fi determinată cu relaţia următoare:

$$E_p = \frac{I_\alpha}{r^2}\cos\alpha = \frac{I_\alpha}{h^2}\cos^3\alpha. \qquad (2.13)$$

Deci iluminarea unui punct depinde de planul în care se află punctul respectiv.

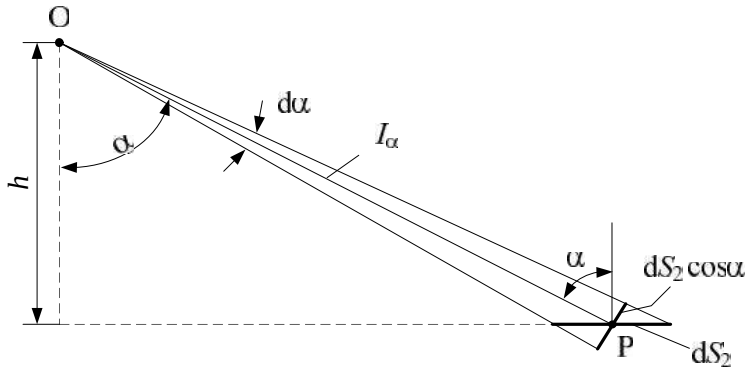


Fig. 2. 10 Iluminarea într-un punct al unei suprafeţe.

2.3.5. Luminanţa (strălucirea) *L*

Luminanţa este mărimea fotometrică percepută direct de ochiul omenesc şi se referă atât la surse de lumină, cât şi la suprafeţe iluminate. Luminanţa L_α a unei suprafeţe luminoase elementare dS_1 se defineşte în funcţie de poziţia observatorului faţă de suprafaţa privită, caracterizată prin intensitatea luminoasă dI_α.

Luminanţa într-un punct P al unei suprafeţe elementare dS_1, într-o anumită direcţie – direcţie care formează cu normala la suprafaţa N unghiul α – este definită ca raportul dintre intensitatea luminoasă dI_α în direcţia considerată şi aria proiecţiei acestei suprafeţe pe un plan perpendicular pe direcţia considerată (*Fig. 2.11*).

$$L = \frac{dI_\alpha}{dS_1 \cdot \cos\alpha}. \qquad (2.14)$$

Unitatea de măsură în SI a luminanţei este **candela/m^2**, [cd/m^2], denumită în unele publicaţii şi **nit** [nt]. Iluminarea retinei ochiului E_r este direct proporţională cu luminanţa L_α dată de relaţia *(2.14)*:

$$E_r = k_r \cdot L_\alpha, \qquad (2.15)$$

unde k_r este o constantă care depinde de factorul de transmisie (transimtanţă) al cristalinului, notat cu τ, S_p este suprafaţa pupilei şi d este distanţa dintre pupilă şi retină:

$$k_r = \frac{\tau \cdot S_p}{d^2}. \qquad (2.16)$$

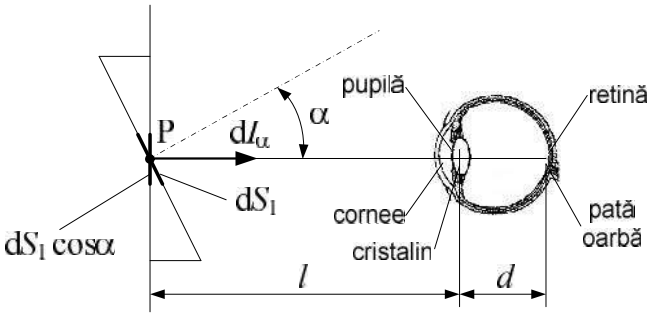


Fig. 2. 11 Luminanţa într-un punct al unei suprafeţe.

Deci factorul de proporţionalitate k_r depinde numai de caracteristicile ochiului observatorului. Această constatare impune ca în calculele de proiectare ale sistemelor de iluminat să se pornească nu de la iluminări, ci de la luminanţe.

Luminanţa dă informaţii directe despre relaţia **lumină – vedere umană**, fiind esenţială în aprecierea senzaţiei vizuale. Este o mărime activă faţă de ochiul uman, pe când iluminarea definită mai sus, este o mărime pasivă.

Valorile luminanţei variază într-o plajă foarte largă, în funcţie de sursa luminii. Astfel:

– Soarele determină o valoare de $1{,}6 \cdot 10^9$ cd/m^2;

– cerul acoperit dar luminos determină o luminanţă de 10^4 cd/m^2;

– Luna, noaptea, determină o valoare de $2{,}5 \cdot 10^3$ cd/m^2;

– filamentul incandescent determină o valoare de $(6\text{-}8) \cdot 10^6$ cd/m^2;

– lampa fluorescentă determină o valoare de 10^4 cd/m^2;

– hârtia albă, iluminată la 1.000 lx, determină 250 cd/m^2;

– plafonul şi pereţii unei încăperi luminată la 500-1.000 lx, determină o valoare de 50-150 cd/m^2;

– o stradă iluminată artificial determină o luminanţă de 0,5-2 cd/m^2.

Considerând valori finite pentru intensitatea luminoasă ΔI_α şi pentru suprafaţa privită ΔS_1, relaţia *(2.14)* determină o luminanţă medie, devenind:

$$L = \frac{\Delta I_\alpha}{\Delta S_1 \cdot \cos\alpha}. \qquad (2.17)$$

2.3.6. Emitanţa (excitanţa, radianţa) *R*

Excitanţa luminoasă este o densitate superficială de flux luminos, însă – spre deosebire de iluminare – este o densitate de flux emis.

Emitanţa suprafeţei unei surse într-un punct al său este raportul între fluxul luminos dΦ, emis de suprafaţa elementară dS_1 din jurul punctului şi aria suprafeţei elementare respective:

$$R = \frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}S_1}. \qquad (2.18)$$

Această mărime se referă atât la corpurile care produc fluxul luminos, cât şi la cele care îl reflectă sau îl transmit.

Unitatea de măsură a excitaţiei luminoase este **lumenul pe metru pătrat** [lm/m^2], definit ca şi luxul, cu deosebirea că se referă la o **suprafaţă** ce emite flux luminos. În unele surse bibliografice emitanţa este notată şi cu *M*[21].

2.3.7. Cantitatea de lumină (energia luminoasă) *Q*

Cantitatea de lumină este produsul dintre fluxul luminos – primit sau cedat – şi intervalul de timp *t* în care se face transferul de flux luminos:

$$\mathrm{Q} = \int_0^t \Phi \cdot \mathrm{dt} = \int_0^t \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} V_\lambda \cdot P_\lambda \cdot \mathrm{d}\lambda \cdot \mathrm{dt}. \qquad (2.19)$$

În relaţia *(2.19)* Φ [lm] este fluxul emis de o sursă luminoasă în timpul *t* [s]. Unitatea sa de măsură este **lumen·secundă** [lm·s]. Această mărime indică energia debitată de sursa de lumină sau primită de o suprafaţă, evaluată după senzaţia luminoasă pe care o produce.

2.3.8. Cantitatea de iluminare (şi expunerea luminoasă) Q_E

Cantitatea de iluminare a unei suprafeţe este produsul dintre iluminarea *E* a suprafeţei şi intervalul de timp considerat:

$$Q_\mathrm{E} = \int_0^t E \cdot \mathrm{d}t. \qquad (2.20)$$

În relaţia *(2.20)* mărimea *E* [lx] este iluminarea suprafeţei considerate în timpul *t* [s]. Unitatea sa de măsură este **lux·secundă** [lx·s].

Rezultă că este vorba despre o densitate de energie pe suprafaţă,

[21] **Bianchi, C., ş.a.** *Sisteme de iluminat interior şi exterior*, Ed. Matrix Rom, Bucureşti, 2001.

evaluată după senzaţia luminoasă produsă. Această mărime intervine în tehnica fotografică. Unii autori notează cantitatea de iluminare cu H[22].

În tabelul 2.1 sunt date mărimile fotometrice, relaţiile lor de definiţie şi unităţile de măsură, în Sistemul Internaţional de măsură.

Tabel 2.1

Mărimea	Relaţia de definiţie	Unitatea de măsură
Fluxul luminos	$\Phi = 683\int_{\lambda_1}^{\lambda_1} V_\lambda \cdot P_\lambda \cdot \mathrm{d}\lambda.$	lumen [lm]
Intensitate	$I_\alpha = \frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}\Omega}$	candelă [cd]
Iluminare	$E = \frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}S_2}.$	lux [lx]
Radianţă	$R = \frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}S_1}.$	lumen/m^2 [lm/m^2]
Luminanţă	$L = \frac{\mathrm{d}I_\alpha}{\mathrm{d}S_1 \cos\alpha}.$	nit [nt]=[cd/m^2]
Cantitate de lumină	$Q = \int_0^t \Phi \cdot \mathrm{d}t.$	lumen-secundă [lm·s]
Cantitate de iluminare	$Q_\mathrm{E} = \int_0^t E \cdot \mathrm{dt}.$	lux-secundă [lx·s]

2.3.9. Randamentul luminos η_l

Randamentul luminos al unei surse de lumină este raportul dintre fluxul luminos emis Φ (exprimat în watt-i luminoşi) şi puterea P consumată de sursă (exprimată în watt-i):

$$\eta_l = \frac{\Phi}{P} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} V_\lambda \cdot P_\lambda \cdot \mathrm{d}\lambda}{P} \left[\frac{\mathrm{Wl}}{\mathrm{W}}\right]. \qquad (2.21)$$

[22]**Bianchi, C. ş.a.** *Sisteme de iluminat interior şi exterior*, Ed. Matrix Rom, Bucureşti, 2001.

2.3.10. Eficacitatea luminoasă *e*

Eficacitatea luminoasă a unei surse de lumină este raportul dintre fluxul luminos Φ (exprimat în lumeni) şi puterea *P* consumată de sursă (exprimată în watt-i):

$$e = \frac{\Phi}{P} = \frac{683 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} V_\lambda \cdot P_\lambda \cdot d\lambda}{P} = 683 \cdot \eta_l \left[\frac{\text{lm}}{\text{W}}\right]. \qquad (2.22)$$

Eficacitatea luminoasă este mărimea care stabileşte o relaţie între caracteristicile lumino-tehnice ale sursei şi puterea electrică consumată de aceasta. Este o mărime importantă în alegerea tipurilor se surse în proiectarea sistemelor de iluminat.

2.3.11. Temperatura de culoare T_c

Temperatura de culoare a unei surse este temperatura (în K) la care este încălzit corpul negru pentru a se obţine culoarea radiaţiei acestuia identică cu culoare radiaţiei sursei considerate. Odată cu creşterea temperaturii de culoare se trece de la nuanţe calde (bogate în roşu) la nuanţe reci (bogate în albastru) – *Fig. 2.12*[23].

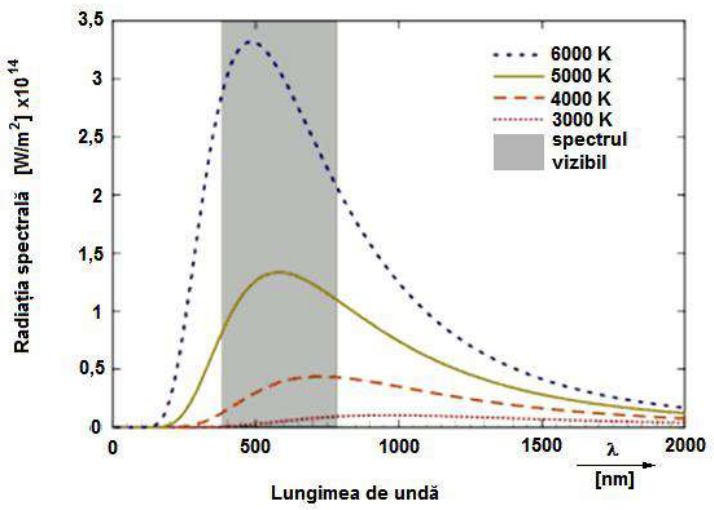


Fig. 2. 12 Corelaţia între radiaţia spectrală şi temperatura de culoare a corpului negru.

[23] http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/clear/visual/people/ambience/colour/index.html

În funcţie de temperatura de culoare corelată *T*, culoarea aparentă a surselor de lumină se clasifică astfel:

– **caldă**, T<3.300 K;

– **neutră**, 3.300 K<T<5.300 K;

– **rece**, T>5.300 K.

Culorile calde se recomandă pentru încăperile unde se urmăreşte realizarea unui climat plăcut, relaxant, stimulativ.

Culorile neutre sunt recomandate în toate încăperile unde se desfăşoară activităţi fizice şi intelectuale, dacă iluminatul electric este combinat cu cel natural.

Culorile reci sunt recomandate atunci când sunt necesare niveluri ridicate de iluminare, în sisteme combinate cu iluminatul natural.

2.3.12. Redarea culorilor (indicele R_a)

De cele mai multe ori, în câmpul vizual se află suprafeţe colorate.

Dacă acestea sunt iluminate natural, modul în care sunt percepute este aproape ideal, deoarece lumina albă naturală conţine toate lungimile de undă din spectrul vizibil.

Dacă suprafeţele colorate sunt iluminate cu ajutorul unor surse artificiale de lumină, pot apărea situaţii în care conţinutul de radiaţii al luminii emise să nu cuprindă anumite lungimi de undă. Astfel, dacă spre exemplu, din spectrul sursei lipsesc lungimile de undă corespunzătoare culorii roşii, toate nuanţele de roşu din suprafaţa colorată nu vor fi neredate.

Pentru a aprecia calitatea unei surse, referitoare la modul de redare a culorilor, CIE a selectat din sistemul tricromatic opt culori de referinţă, care acoperă tot domeniul spectrului vizibil. Considerându-se o sursă de referinţă (etalon) şi sursa analizată, se calculează media aritmetică a diferenţelor coordonatelor de culoare din sistemul tricromatic, pentru opt culori de referinţă (ΔE_a).

Cu această medie, CIE a stabilit o formulă empirică, ce defineşte indicele de redare a culorilor R_a:

$$R_a = 100 - 4{,}6 \cdot \Delta E_a . \qquad (2.23)$$

Dacă ΔE_a este zero, R_a=100, adică valoarea maximă către care se tinde. Valori orientative ale indicelui de redare a culorilor R_a sunt date în tabelul 2.2 şi în Anexa 6. Mărimea R_a se poate calcula şi ca $\Sigma R_i/8$, unde R_i se calculează cu relaţia *(2.23)* pentru fiecare din cele opt culori selectate ca eşantion[24].

La realizarea unei ambianţe confortabile pot contribui – în măsura în

[24] **Pop, F. R. ş.a.** *Eficienţa energetică în iluminat,* Editura Energobit, Cluj-Napoca, 2005.

care sunt alese corespunzător – culorile suprafeţelor reflectante. De asemenea, gradul de saturaţie al culorii este o parte importantă a realizării unor efecte ambientale plăcute. Culorile cu grad mare de saturaţie realizează contraste puternice, iar cele nesaturate sau puţin saturate produc ambianţe odihnitoare, fiind indicate pentru majoritatea încăperilor.

Lămpile cu incandescenţă creează un aspect cromatic asemănător cu cel al luminii zilei, cu toate că există diferenţe de coordonate considerabile. Ochiul omenesc nu sesizează cantitativ redarea culorii, ci doar calitativ, dacă obiectul colorat este privit simultan sub influenţa celor două fascicule diferite (etalon şi real).

Tabel 2.2

R_a	100	90-100	70-90	50-70	30-50	0-30
Redare	ideală	excelentă	foarte bună	moderată-bună	moderată	slabă
Surse	Iluminat de referinţă*	LIC, LIH, LF cu înaltă redare	LF cu redare foarte bună, MH	LF, HPI	LVF, LPN/SON	SOX

* *Corpul negru încălzit sau lumina naturală reconstituită.*

2.4. Legi aplicate în luminotehnică

Relaţiile care exprimă sub formă matematică modul de producere a radiaţiilor termice (incluzând şi radiaţiile luminoase), propagarea lor în medii omogene şi comportarea lor la suprafaţa de separaţie a două medii cu indici diferiţi, numite **legi,** au fost stabilite în timp pe bază de observaţii, şi sunt necesare în înţelegerea fenomenelor care guvernează luminotehnică.

2.4.1. Legile privind producerea radiaţiilor electromagnetice pe cale termică

Legea lui Planck. Radiaţiile termice

Toate corpurile a căror temperatură este diferită de zero absolut sunt surse de energie radiantă. Corpul negru este un corp ideal, care se caracterizează prin proprietatea de absorbţie a tuturor radiaţiilor incidente, indiferent de lungimea lor de undă, de unghiul de incidenţă sau de posibila lor polarizare. Pentru corpul negru, puterea radiantă corespunzătoare unei anumite lungimi de undă pe unitatea de suprafaţă este dată de **Legea lui Planck**:

$$P_{\lambda n} = \frac{C_1 \cdot \lambda^{-5}}{e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1} \left[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2 \mu\mathrm{m}}\right]. \qquad (2.24)$$

în care C_1=3,707·10^8 [W·μm^4/m^2], C_2=1,432·10^4 [K·μm]; λ este lungimea de undă [μm]; T este temperatura absolută [K].

Alura curbelor $P_{\lambda n}=f(\lambda)$ este redată în figura 2.13, pentru diferite temperaturi între 3.500 K şi 5.500 K.

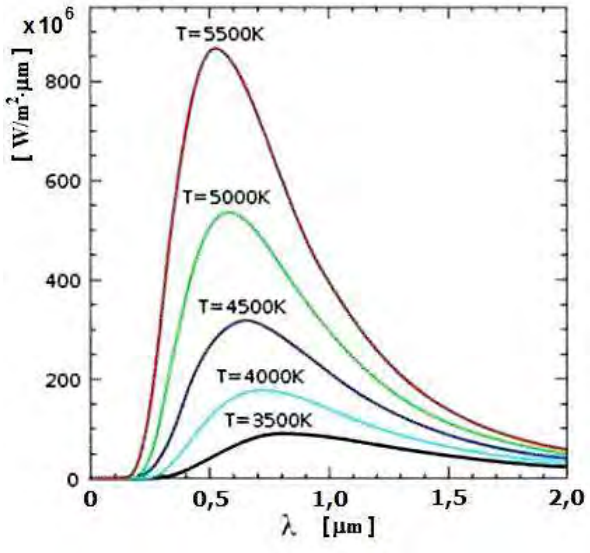


Fig. 2. 13 Spectrul de radiaţie al corpului negru.

Legile lui Wien

Pentru diferite temperaturi T se pot trasa curbe $P_{\lambda n}=f(\lambda)$ – *Fig. 2.13* şi *Fig. 2.14*. Fiecare curbă prezintă un maximum pentru o anumită lungime de undă λ_m, care s-a obţinut prin anularea derivatei din relaţia *(2.29)*. Puterea radiantă maximă $P_{\lambda n\ max}$ se obţine anulând derivata parţială a puterii radiante în raport cu lungimea de undă, şi rezultă

$$P_{\lambda n\,max} = C_1 \cdot T^5 \left[\frac{W}{m^2}\right]. \quad (2.25)$$

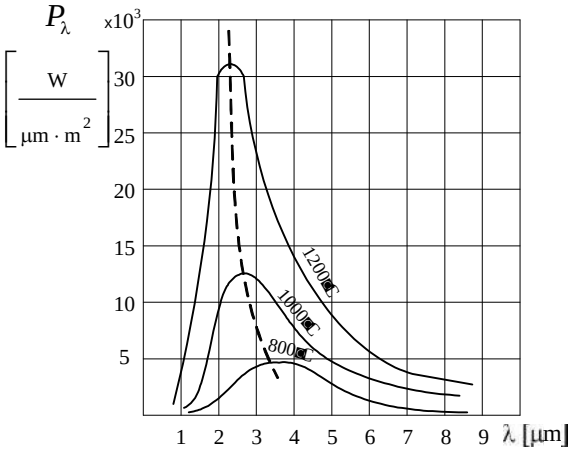


Fig. 2. 14 Curbele spectrale ale corpului negru pentru diferite temperaturi.

Această relaţie reprezintă **legea I a lui Wien** şi exprimă variaţia puterii ra-

diante maxime cu puterea a cincea a temperaturii de încălzire a corpului negru.

Între lungimea de undă λ_m şi temperatura curbei corespunzătoare există relaţia

$$\lambda_m \cdot T = b, \qquad (2.26)$$

unde b=2.897 K·μm.

Relaţia *(2.26)* reprezintă **legea a II-a a lui Wien (legea deplasării maximului),** care arată că maximul emisiei spectrale se deplasează către lungimile de undă mici odată cu creşterea temperaturii de încălzire a corpului negru. Din figura 2.13 se observă că filamentul lămpii cu incandescenţă ar trebui încălzit la 5.500 K pentru ca maximul de emisie să corespundă lungimii de undă de 0,555 μm, ceea ce este imposibil, deoarece temperatura maximă la care se încălzeşte filamentul de wolfram este de circa 3.000 K.

Legea lui Stefan Boltzmann

Capacitatea de emisie energetică totală a corpului negru este dată de **legea lui Stefan Boltzmann**

$$E = C \cdot T^4, \qquad (2.27)$$

unde C=5,667·10^{-8} [W/m^2·K^4].

Corpul negru este un corp limită, inexistent în natură.

Legile lui Kirchhoff

Aceste legi se referă la corelaţia dintre corpul negru şi corpurile reale.

Notând cu $P_{\lambda,T}$ puterea radiantă pentru o anumită lungime de undă la temperatura T, se poate defini factorul de absorbţie (absorbanţă) $\alpha_{\lambda,T}$ cu relaţia

$$\alpha_{\lambda,T} = \frac{P_{\lambda,T}}{P_{\lambda n}}. \qquad (2.28)$$

Dacă factorul de absorbţie este **dependent** de lungimea de undă λ, din relaţia *(2.28)* rezultă

$$P_{\lambda,T} = \alpha_{\lambda,T} \cdot P_{\lambda n}. \qquad (2.29)$$

relaţia care constituie **legea I a lui Kirchhoff** şi care caracterizează corpurile colorate.

Dacă factorul de absorbţie este **independent** de lungimea de undă λ, aceeaşi relaţie *(2.29)* constituie **legea a II-a a lui Kirchhoff**, şi caracterizează corpurile colorate.

Deci corpuri colorate sunt acelea pentru care factorul de absorbţie (emisie) depinde de lungimea de undă, iar corpuri cenuşii sunt acelea pentru care factorul de emisie este independent de lungimea de undă λ.

Coeficientul $\alpha_{\lambda,T}$ este **coeficientul de absorbţie** al corpului cenuşiu respectiv, fiind subunitar.

Pentru corpurile cenuşii, relaţia *(2.27)* devine

$$E = C \cdot \varepsilon \cdot T^4, \qquad (2.30)$$

unde ε este coeficientul de înnegrire al corpurilor cenuşii, de valoare subunitară.

Un corp este necolorat dacă factorul de absorbţie (emisie) nu depinde de lungimea de undă a radiaţiei incidente şi deci corpul reflectă, absoarbe sau transmite **neselectiv** lumina.

Un corp colorat reflectă, absoarbe sau transmite **selectiv** lumina.

2.4.2. Legile privind propagarea şi distribuţia radiaţiilor luminoase

Pornind de la relaţia *(2.13)*, prima parte, adică

$$E_p = \frac{I_\alpha}{r^2} \cos\theta, \qquad (2.31)$$

scrisă cu notaţiile din figura 2.15, putem trage două concluzii:

1) Iluminarea unui punct P este dependentă de inversul pătratului distanţei de la sursa respectivă, considerată punctiformă, la punctul P. Această concluzie este cunoscută sub numele de **legea inversului pătratului distanţei** – relaţia *(2.32)* – şi a fost formulată şi experimentată de fizicianul francez Bouguer.

Deci, considerând α constant şi I_α constant, afirmaţia de mai sus se poate scrie şi sub forma

$$E_p = f\left(\frac{1}{r^2}\right). \qquad (2.32)$$

O sursă punctiformă având intensitatea luminoasă de 1 cd, va asigura pe o suprafaţă sferică de 1 m^2 aşezată la 1 m distanţă de ea, 1 lumen pe metru pătrat, adică 1 lux.

Aceeaşi sursă, conform legii inversului pătratului distanţei, va asigura pe o suprafaţă sferică de 4 m^2, aşezată la 2 m distanţă de ea, 1/4 lx; pe o suprafaţă de 9 m^2, aşezată la 3 m distanţă de ea, 1/9 lx etc.

Legea inversului pătratului distanţei va da rezultate bune dacă distanta de la sursă este de cel puţin cinci ori diametrul sursei.

Folosind **legea inversului pătratului distanţei** putem determina

intensitatea sursei, în candele, pur şi simplu prin înmulţirea densităţii de flux cu pătratul distanţei.

2) Iluminarea unui punct P este dependentă de planul în care se află punctul respectiv faţă de direcţia razei incidente, faţă de normala la plan (unghiul θ). Astfel dacă I_α=ct. şi r=ct., din relaţia *(2.31)* rezultă

$$E_p = f(\cos\theta). \qquad (2.33)$$

Se constată că iluminarea este maximă pentru o valoare a unghiului θ egală cu zero, adică pentru cazul când intensitatea I_α este coliniară cu normala la plan $\bar{n}$, şi este minimă (zero) când unghiul θ este de 90º.

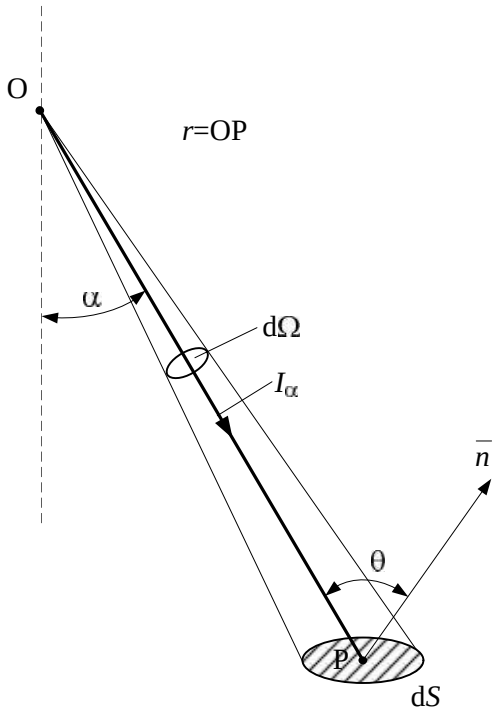


Fig. 2. 15 Emisia unui flux luminos constant într-un unghi solid elementar dΩ.

În figura 2.15 s-au notat: O – sursa de lumină; I_α – intensitatea luminoasă; $\bar{n}$ – normala la planul suprafeţei elementare dS în punctul P; θ – unghiul de incidenţă.

2.4.3. Legile privind comportarea luminii la suprafaţa de separaţie între două medii diferite

Legea conservării fluxului luminos

Fluxul luminos incident Φ_i care cade asupra unui corp este în parte reflectat – Φ_r, absorbit – Φ_a, sau transmis – Φ_t. Legea conservării energiei se exprimă în acest caz prin relaţia

$$\Phi_i = \Phi_r + \Phi_a + \Phi_t. \qquad (2.34)$$

Dacă în relaţia *(2.34)* împărţim fiecare parte cu Φ_i rezultă

$$r + a + t = 1, \qquad (2.35)$$

unde:

– $r = \frac{\Phi_r}{\Phi_i}$ este factor de reflexie (reflectanţă);

– $a = \frac{\Phi_a}{\Phi_i}$ este factor de absorbţie (absorbanţă);

– $t = \frac{\Phi_t}{\Phi_i}$ este factor de transmisie (transmitanţă).

Relaţiile *(2.34)* şi *(2.35)* reprezintă **legea conservării fluxului luminos**, exprimată în două forme.

Proprietăţile fotometrice ale materialelor se caracterizează prin factorii fotometrici de reflexie, de absorbţie şi de transmisie, definiţi mai sus[25].

Dacă unul dintre factori este unitar, evident ceilalţi doi sunt nuli. În asemenea cazuri distingem trei tipuri de materiale:

– **perfect reflectante** (r=1),
– **perfect absorbante** (a=1),
– **perfect transparente** (t=1).

Clasificarea de mai sus se referă la materiale ideale.

Materialele utilizate în practică se caracterizează prin valori intermediare ale cazurilor limită, care se clasifică astfel:

– **reflectante** ($r>a, t$),
– **absorbante** ($a>r, t$),
– **transparente** ($t>r, a$).

Legile reflexiei luminii

Reflexia fluxului luminos poate fi:

▪ **regulată**, când unei raze luminoase incidente îi corespunde o singură rază reflectată – *Fig. 2.16 a)*. Acest tip de reflexie urmează legile reflexiei, adică:

- raza incidentă, raza reflectată şi normala la suprafaţă sunt coplanare;
- unghiul de incidenţă şi unghiul de reflexie sunt egale.

În luminotehnică se demonstrează că între luminanţa incidentă L_i şi luminanţa reflectată există relaţia

$$L_r = r \cdot L_i, \qquad (2.36)$$

r fiind factorul de reflexie al suprafeţei de separaţie.

Reflexia regulată este caracteristică suprafeţelor netede lustruite, oglinzile plane din metal (nichelate sau cromate) sau din sticlă.

▪ **difuză**, când unei raze incidente îi corespund o infinitate de raze

[25] ***Observaţie:*** *factorii de reflecţie, absorbţie şi transmisie mai sunt notaţi în literatură cu* ρ, α, τ.

reflectate – *Fig. 2.16 b).*

Reflexia difuză este caracteristică suprafeţelor metalice mate, caz în care luminanţa reflectată este variabilă.

▪ **mixtă**, când reflexia este parţial regulată şi parţial difuză – *Fig. 2.16 c).*

Reflexia mixtă apare la sticla opalină, marmură, glazură de porţelan. În cazul suprafeţelor cu difuziune mixtă, intensităţile reflectate sunt în general mai mari pe direcţia şi în sensul razei reflectate de la reflexia regulată, ceea ce face, practic, ca pe o astfel de suprafaţă să se contureze mai mult sau mai puţin estompat conturul sursei de lumină reflectate, rezultând voalul de reflexie sau reflexia de voal[26].

▪ **perfect difuză**, dacă luminanţa suprafeţei corpului este aceeaşi în toate direcţiile – *Fig. 2.16 d).*

Reflexia perfect difuză este caracteristică materialelor cu o granulaţie fină şi uniformă (ca de exemplu, vopseaua albă).

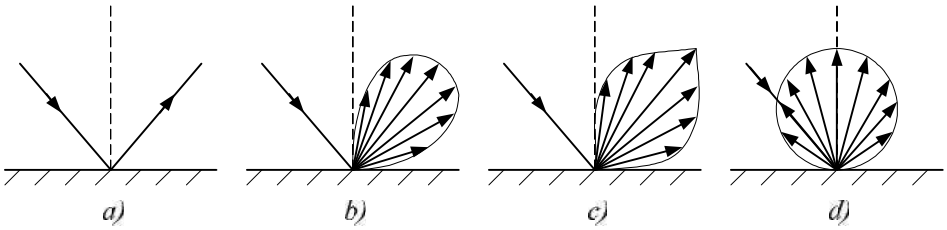


Fig. 2. 16 Reflexia luminii: a) regulată; b) difuză; c) mixtă; d) perfect difuză.

Legea lui Lambert

Pentru suprafeţe perfect difuzante, la care luminanţa reflectată este constantă, indiferent de direcţie, se poate deduce – pornind de la relaţia de definiţie *(2.14)* – următoarea relaţie:

$$I_\alpha = L \int_{S_1} \mathrm{d}S_1 \cdot \cos\alpha = L \cdot S_1 \cdot \cos\alpha. \qquad (2.37)$$

Pentru α=0 se obţine intensitatea maximă

$$I_\mathrm{m} = L \cdot S_1. \qquad (2.38)$$

Înlocuind în relaţia *(2.36)* intensitatea maximă, rezultă

$$I_\alpha = I_\mathrm{m} \cdot \cos\alpha. \qquad (2.39)$$

Această ultimă relaţie reprezintă **legea lui Lambert** sau legea cosinusului, o lege foarte importantă în calculele fotometrice.

[26] **Bianchi, C., ş.a.** *Sisteme de iluminat interior şi exterior*, Ed. Matrix Rom, Bucureşti, 2001.

Legea proporţionalităţii dintre iluminare şi luminanţă

Pornind de la relaţia de definiţie a coeficientului de reflexie, adică $r = \frac{\Phi_r}{\Phi_i}$ şi având în vedere că fluxul incident este $\pi \cdot L \cdot S$ – relaţia *(3.11)*, iar fluxul reflectat este $r \cdot E \cdot S$, rezultă următoarea relaţie:

$$L = \frac{r}{\pi} E, \qquad (2.40)$$

în care L este luminanţa suprafeţei, E – iluminarea sa, iar r este factorul de reflexie.

Această relaţie reprezintă **legea proporţionalităţii dintre iluminare şi luminanţă** pentru suprafeţe perfect difuzante.

În cazul în care difuzia este imperfectă, relaţia de legătură dintre luminanţă şi iluminare este

$$L = q \cdot E, \qquad (2.41)$$

unde q este coeficientul de luminanţă al suprafeţei, care depinde de patru parametrii unghiulari:

– doi parametrii (unghiuri) se referă la poziţia sursei S(γ, c);

– doi parametrii care se referă la poziţia punctului P, în care intensitatea este receptată de observator, punct privit de către observator P(α, β) – *Fig. 2.17*.

Deci coeficientul de luminanţă al suprafeţei care conţine punctul P este

$$q = f(\alpha, \beta, \gamma, c). \qquad (2.41)$$

Reflexia difuză imperfectă (mixtă) este caracteristică suprafeţelor vopsite în ulei, suprafeţelor melaminate, hârtiei lucioase, suprafeţelor şoselelor şi drumurilor publice moderne.

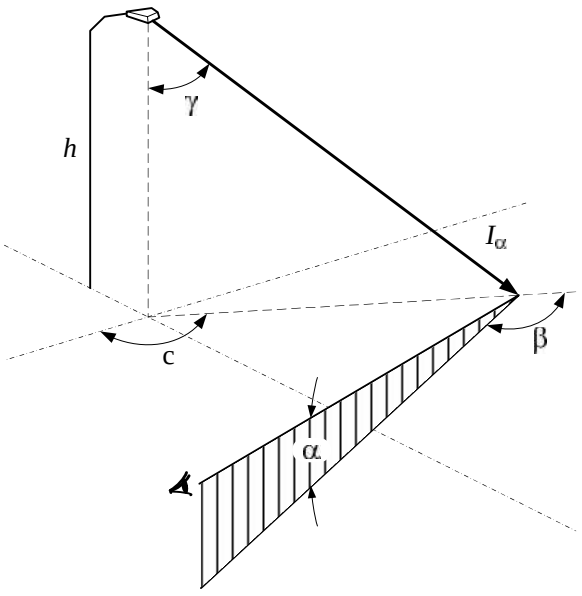


Fig. 2. 17 Intensitatea luminoasă $I_{\gamma, c}$ şi coordonatele unghiulare faţă de poziţia observatorului şi centrul P *al suprafeţei elementare de drum.*

Legile transmisiei luminii

Transmisia luminii are loc analog cu reflexia luminii, de aceea legile transmisiei sunt similare cu cele ale reflexiei.

Transmisia este în general însoţită şi de o reflexie (*Fig. 2.18*). Ca şi reflexia, transmisia poate fi:

- **regulată** – când unei raze incidente îi corespunde o singură rază transmisă;
- **difuză** – când unei raze incidente îi corespund mai multe raze transmise;
- **mixtă** – când unei raze incidente îi corespund mai multe raze transmise, grupate după direcţia corespunzătoare transmisiei regulate;
- **perfect difuză** – când unei raze incidente îi corespund mai multe raze transmise, care respectă legea lui Lambert.

Transmisia regulată a luminii este caracteristică sticlei transparente, transmisia difuză sticlei mate, transmisia mixtă sticlei opaline, iar transmisia perfect difuză sticlei lăptoase.

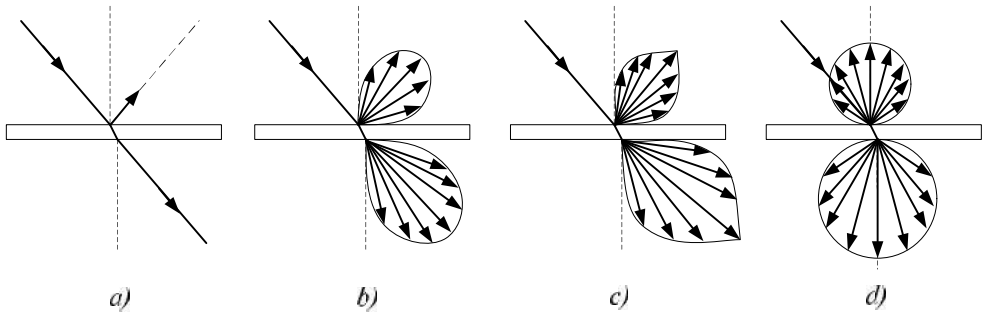


Fig. 2. 18 Transmisia luminii: a) regulată; b) difuză; c) mixtă; d) perfect difuză.

Capitolul 3. CALCULUL ŞI MĂSURAREA MĂRIMILOR FOTOMETRICE

3.1. Calculul mărimilor fotometrice

3.1.1. Determinarea formulei generale de calcul a fluxului luminos

Fiind dată repartiţia în spaţiu a intensităţii luminoase a unei surse (suprafaţa fotometrică) fluxul luminos al sursei se poate calcula pornind de la relaţia *(2.10)*, scrisă sub forma

$$d\Phi = I_{\alpha,\beta} \cdot d\Omega, \qquad (3.1)$$

unde $I_{\alpha,\beta}$ este intensitatea într-o anumită direcţie, caracterizată prin două unghiuri: α (γ) – altitudinea (măsurată de la axa verticală a sursei) şi β (c) – azimutul direcţiei.

Fluxul total emis de sursă se obţine prin integrare:

$$\Phi = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} I_{\alpha,\beta} \cdot d\Omega. \qquad (3.2)$$

Unghiul solid $d\Omega$ trebuie să fie exprimat în funcţie de unghiurile α (γ) şi β (c). Urmărind figura 3.1 a) se poate scrie relaţia

$$AB = R \cdot \sin\alpha \cdot d\beta;\ BC = R \cdot d\alpha. \qquad (3.3)$$

Suprafaţa d*S* se poate considera dreptunghi, deci unghiul solid $d\Omega$ este

$$d\Omega = \frac{dS}{R^2} = \frac{AB \cdot BC}{R^2} = \sin\alpha \cdot d\alpha \cdot d\beta. \qquad (3.4)$$

Înlocuind relaţia *(3.4)* în relaţia *(3.2)*, rezultă

$$\Phi = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} I_{\alpha,\beta} \cdot \sin\alpha \cdot d\alpha \cdot d\beta. \qquad (3.5)$$

Dacă sursa prezintă o axă de simetrie, adică pentru un anumit unghi α intensitatea $I_{\alpha,\beta}$ este constantă pentru orice valoare a unghiului β, expresia de mai sus devine

$$\Phi = 2\pi \int_0^{\pi} I_\alpha \cdot \sin\alpha \cdot d\alpha. \qquad (3.6)$$

Intensitatea luminoasă poate fi dată sub formă analitică, caz în care calculul fluxului luminos se face fără greutăţi, sau poate fi dată sub formă tabelară, şi în acest caz calculul fluxului luminos se face prin metode grafo-analitice.

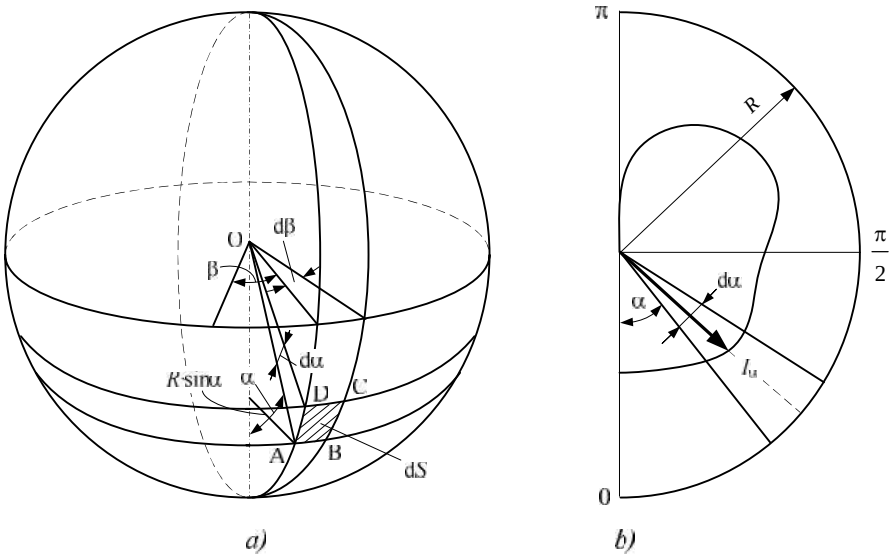


Fig. 3. 1 Schemă pentru calculul fluxului luminos: a) determinarea unghiului solid; b) curbă fotometrică.

3.1.2. Calculul fluxului luminos când intensitatea luminoasă poate fi scrisă sub formă analitică

În cazul unui element de suprafaţă d*S*, dintr-un **disc perfect difuzant** (*L*=ct.), se poate scrie – vezi şi relaţia *(2.14)*:

$$dI_\alpha = L \cdot dS_1 \cdot \cos\alpha, \qquad (3.7)$$

deci:

$$I_\alpha = L \int_{S_1} dS_1 \cdot \cos\alpha = L \cdot S_1 \cdot \cos\alpha. \qquad (3.8)$$

Pentru **α=0** se obţine intensitatea maximă

$$I_m = L \cdot S_1, \qquad (3.9)$$

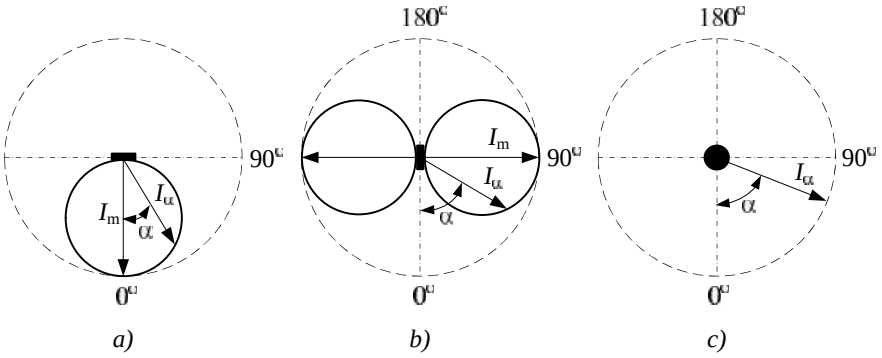
astfel încât relaţia *(3.8)* devine

$$I_\alpha = I_m \cdot \cos\alpha. \qquad (3.10)$$

Această ultimă relaţie exprimă **legea lui Lambert** sau legea cosinusului – *Fig. 3.2 a)* – a se vedea şi relaţiile *(2.37)÷(2.39)*.

Înlocuind valoarea intensităţii dată de relaţia *(3.10)* în relaţia *(3.6)*, rezultă fluxul total radiat de suprafaţa S_1:

$$\Phi = 2\pi \cdot I_m \int_0^{2\pi} \sin\alpha \cdot \cos\alpha \cdot d\alpha = \pi \cdot I_m. \qquad (3.11)$$



a) *b)* *c)*

Fig. 3. 2 Distribuţia intensităţii luminoase la surse de lumină: a) suprafaţă plană; b) cilindru; c) sferă.

În cazul unui **tub luminos perfect difuzant** de lungime infinit mică, suprafaţa fotometrică este un tor circular de rază interioară aproape nulă. Curba fotometrică este reprezentată prin două cercuri aproape tangente între ele – *Fig. 3.2 b)*.

Intensitatea luminoasă în acest caz este

$$I_\alpha = I_m \cdot \sin\alpha, \qquad (3.12)$$

iar fluxul luminos total emis de sursă este

$$\Phi = 2\pi \int_0^{\pi} I_m \cdot \sin 2\alpha \cdot d\alpha = \pi^2 \cdot I_m. \qquad (3.13)$$

În cazul unei **sfere luminoase**, fluxul luminos se determină pornind de la relaţia *(3.6)*, în care $I_\alpha = I_m = ct.$:

$$\Phi = 2\pi \int_0^{\pi} I_m \cdot \sin\alpha \cdot d\alpha = 4\pi \cdot I_m. \qquad (3.14)$$

3.1.3. Calculul fluxului luminos când intensitatea luminoasă este dată sub formă grafică. Diagrama Rousseau

Se consideră cunoscută curba fotometrică a unei anumite surse. Calculul fluxului luminos după metoda Rousseau presupune trasarea în exteriorul curbei fotometrice a unui semicerc cu centrul în punctul în care este situată sursa şi de o rază oarecare *R*.

Paralel cu axa sursei XX' şi exterioară semicercului se duce o dreaptă YY' – *Fig. 3.3*.

Raza OS – care face unghiul α cu axa XX' – intersectează semicercul în punctul S_1 . Perpendiculara din S_1 pe YY' în punctul S' se prelungeşte cu segmentul S'S"=OS, care – la scara *a* – reprezintă intensitatea luminoasă I_α după direcţia considerată. Repetând operaţia şi pentru alte puncte de pe curba fotometrică se obţine curba Rousseau.

Din figură se observă că:

$$S'T'=D'S'-D'T'=R\cdot\cos\alpha-R\cdot\cos(\alpha+d\alpha)=$$

$$=2R\cdot\sin\frac{2\alpha+d\alpha}{2}\sin\frac{d\alpha}{2}\cong 2R(\sin\alpha)\frac{d\alpha}{2}=R\cdot\sin\alpha\cdot d\alpha. \qquad (3.15)$$

Deoarece S'S"=*a*ě I_α pentru elementul de suprafaţă d*S* (ca dreptunghi) S'T'T"S" rezultă

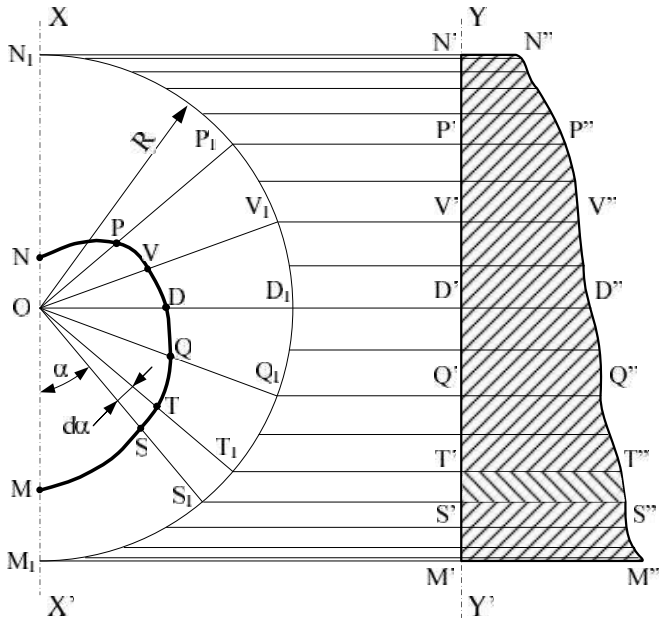


Fig. 3. 3 Diagrama Rousseau.

$$dS = T'S' \cdot S'S'' = a \cdot I_\alpha \cdot R \cdot \sin\alpha \cdot d\alpha. \qquad (3.16)$$

Pentru întreaga suprafaţă M'M"N"N' rezultă

$$S = \int_0^\pi dS = a \cdot R \int_0^\pi I_\alpha \cdot \sin\alpha \cdot d\alpha. \qquad (3.17)$$

Făcând raportul dintre relaţia (5.49) şi (5.55), se obţine

$$\frac{\Phi}{S} = \frac{2\pi \int_0^\pi I_\alpha \cdot \sin\alpha \cdot d\alpha}{a \cdot R \int_0^\pi I_\alpha \cdot \sin\alpha \cdot d\alpha} = \frac{2\pi}{a \cdot R}, \qquad (3.18)$$

ceea ce arată scara la care suprafaţa *S*, mărginită de axa YY' şi punctele M", S",... N" indică fluxul sursei a cărei curbă fotometrică a fost dată.

3.2. Măsurarea mărimilor fotometrice

Pentru determinarea valorilor mărimilor fotometrice sunt folosite două metode, în funcţie de sistemul utilizat:

- **vizuale** (subiective), care folosesc ochiul drept instrument de măsură;
- **fizice** (obiective), care folosesc diferite receptoare sensibile la lumină (foto-rezistoare, foto-celule, foto-elemente, plăci fotografice etc.).

Ochiul omenesc sesizează direct luminanţa obiectelor, dar nu poate aprecia valoarea absolută a acesteia, ci doar diferenţa sau egalitatea luminanţelor a două suprafeţe. Din acest motiv, pentru a măsura o mărime fotometrică a unei surse de lumină folosind drept instrument de măsură ochiul, este nevoie de o altă sursă de lumină-etalon.

Pentru a putea efectua măsurări subiective sunt necesare următoarele măsuri prealabile[27]:

- ochiul observatorului trebuie să fie adaptat la întuneric cel puţin 15 minute;
- suprafeţele a căror luminanţă se compară trebuie să fie de aceeaşi culoare, să fie alăturate şi privite simultan;
- raza vizuală să nu formeze un unghi mai mare de 4÷6º cu normala la suprafaţă;
- luminanţa suprafeţelor să nu coboare sub 3÷5 nt.

În asemenea condiţii, ochiul poate distinge diferenţe de luminanţă

[27] **Comşa. D.** *Utilizări ale energiei electrice*, Ed. Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1973.

până la 1%. După locul unde se efectuează măsurările, se deosebesc:

- **în laborator**, unde se folosesc instrumente de măsură performante; astfel, în laborator se pot măsura: fluxul luminos, intensitatea luminoasă, luminanţa, factorii fotometrici *r*, *a*, *t*, iluminarea, emitanţa etc.;
- **in situ** (pe teren), unde se folosesc aparate de măsură portabile; astfel, pe teren se pot măsura: iluminarea, luminanţa, iluminarea, emitanţa, factorul de reflexie, coeficientul de luminanţă al suprafeţei etc.

Aparatele care servesc la măsurarea mărimilor fotometrice se numesc **fotometre**. În funcţie de mărimea pe care o măsoară, ele pot fi numite: **luxmetre, lumenmetre, luminanţmetre, exponometre.**

3.2.1. Măsurarea intensităţii luminoase

Intensitatea luminoasă se măsoară folosind **fotometrul** Lummer-Brodhun. Elementul de bază al fotometrului este cubul fotometric C, format din două prisme drepte din sticlă incoloră, având o pană de aer pe o jumătate a suprafeţei de contact (*Fig. 3.4*).

Razele luminoase de la sursa etalon L_e suferă o reflexie totală, în vreme ce razele de la sursa de măsurat sunt transmise prin cubul fotometric, direct ochiului observatorului. Fotometrul mai cuprinde ecranul E cu două feţe difuzante, oglinzile O_1 şi O_2 şi ocularul O. Privind prin acesta din urmă, se va vedea în partea stângă faţa ecranului E luminată de sursa etalon L_e, iar

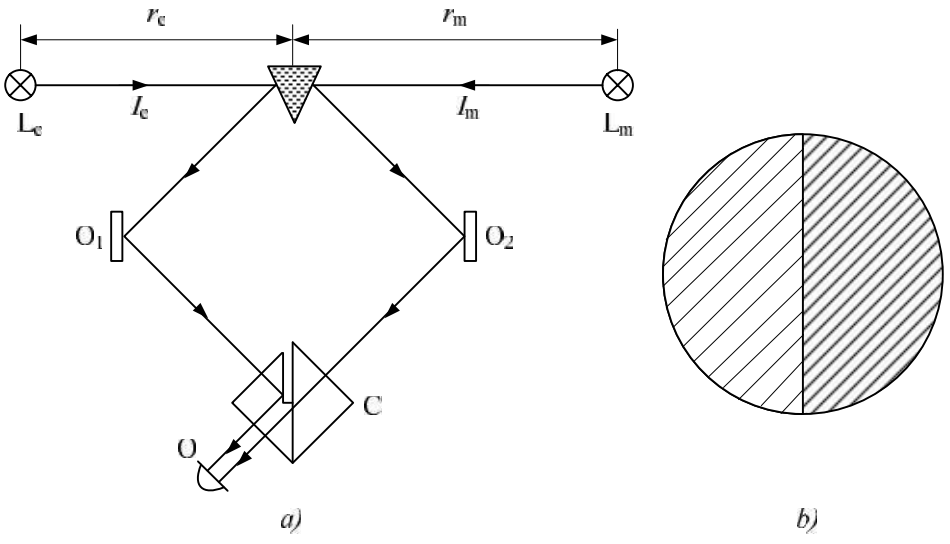


Fig. 3. 4 Fotometrul Lummer-Brodhun: a) schema acestuia; b) câmpul vizual al fotometrului.

în partea dreaptă faţa ecranului E luminată de sursa de măsurat. La egalitatea luminanţelor, care se obţine prin modificarea distanţelor r_e şi r_m, rezultă relaţia

$$\frac{I_e}{I_m} = C\frac{r_e^{\,2}}{r_m^{\,2}}, \qquad (3.19)$$

C fiind constanta aparatului, care se poate determina în procesul de etalonare folosind două surse-etalon (deci se cunosc ambele intensităţi şi se măsoară ambele distanţe, singura mărime necunoscută în relaţia *(3.19)* fiind constanta *C*).

Cunoscând intensitatea sursei etalon şi cele două distanţe, se determină intensitatea sursei de măsurat. Pentru a determina curba fotometrică a unei surse, este necesară determinarea intensităţii luminoase a acesteia în diferite direcţii, lucru ce se realizează rotind sursa de măsurat în jurul unui ax perpendicular pe planul pe care se determină curba fotometrică.

3.2.2. Măsurarea fluxului luminos

Fluxul total al unei surse se poate măsura folosind un **fotometru integrator** – lumenmetrul Ulbricht (*Fig. 3.5*). Acesta constă dintr-o sferă metalică sau din fibră de sticlă goală, cu diametrul de 0,5÷4 m, vopsită în interior cu vopsea albă mată cu granulaţie foarte fină, care produce o reflexie difuză.

Vopseaua albă este caracterizată prin factorul de reflexie *r* (ρ). Ecranul Ec împiedică razele de lumină să cadă direct pe fereastra F. Dacă se consideră elementul de suprafaţă d*S* din jurul unui punct oarecare P un disc perfect difuzant (*L*=ct.), intensitatea luminoasă pe direcţia PO este – vezi relaţiile *(2.10)* şi *(3.11)*:

$$\mathrm{d}I_m = \frac{r\cdot \mathrm{d}\Phi}{\pi}, \qquad (3.20)$$

Intensitatea luminoasă pe direcţia PF este

$$\mathrm{d}I_\alpha = \frac{r\cdot \mathrm{d}\Phi}{\pi}\cos\alpha, \qquad (3.21)$$

iar iluminarea *E* în punctul F – determinată de această rază luminoasă – este

$$\mathrm{d}E = \frac{\mathrm{d}I_\alpha\cdot\cos\alpha}{\mathrm{PF}^2} = \frac{r\cdot\mathrm{d}\Phi}{4\pi\cdot R^2}. \qquad (3.22)$$

Iluminarea *E* în punctul F – produsă de întreaga suprafaţă interioară *S* – este

$$E_1 = \int_S \frac{r \cdot \mathrm{d}\Phi}{4\pi \cdot R^2} = \frac{r \cdot \Phi}{4\pi \cdot R^2}, \qquad (3.23)$$

unde Φ este fluxul total emis de sursă, iar E_1 este iluminarea punctului F după prima reflexie a acestuia.

După un număr infinit de reflexii ale fluxului luminos, iluminarea în punctul F va fi

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + ... = \frac{r \cdot \Phi}{4\pi \cdot R^2}\left(1 + r + r^2 + r^3 + ...\right) = \frac{r}{1-r}\frac{\Phi}{4\pi \cdot R^2} = k \cdot \Phi. \qquad (3.24)$$

Măsurând iluminarea E în punctul F cu un **luxmetru** şi împărţind valoarea indicată cu constanta k a **lumenmetrului** rezultă fluxul luminos total.

Dacă se dispune de o sursă-etalon de flux luminos Φ_e cunoscut şi măsurând iluminările în punctul F pentru cele două surse (etalon şi de măsurat), între cele două fluxuri există relaţia

$$\Phi_m = \Phi_e \frac{E_m}{E_e}. \qquad (3.25)$$

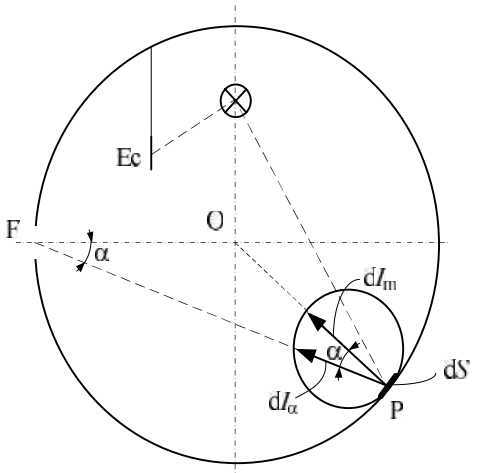


Fig. 3. 5 Schema lumenmetrului Ulbricht.

Fotometrul Ulbricht poate fi folosit şi pentru determinarea coeficienţilor de reflecţie ai diferitelor materiale, motiv pentru care poate fi folosit în tehnica fabricării vopselelor etc.

Dispunând de o sursă etalon şi măsurând iluminarea E a punctului F, putem determina constanta k a fotometrului. Din relaţia *(3.24)* – scrisă pentru sursa-etalon – rezultă coeficientul de reflexie al vopselei cu care s-a acoperit suprafaţa interioară a sferei fotometrice.

3.2.3. Măsurarea iluminării

Iluminarea se măsoară folosind aparatul numit **luxmetru**. Acesta se bazează pe acţiunea luminii asupra unui element fotosensibil. Celula fotoelectrică cu seleniu (*Fig. 3.6*) se compune dintr-o placă de bază de oţel *1* (electrodul pozitiv), pe care este depus un strat subţire de seleniu *2*, acoperit de o foiţă foarte subţire (cca 5 μm) de aur, transparentă *3*. Un inel de fier *4*, aşezat pe foiţa de aur, constituie electrodul negativ. Între cei doi electrozi este conectat galvanometrul *5*.

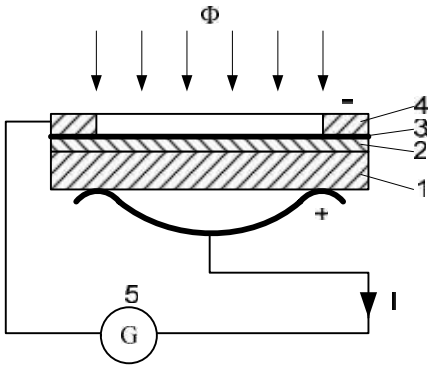


Fig. 3. 6 Schema celulei fotoelectrice cu seleniu.

Suprafaţa de contact dintre stratul de seleniu şi cel de aur constituie o joncţiune *pn* (care determină o barieră de câmp electric dirijat dinspre foiţa de aur către stratul de seleniu), ce permite trecerea electronilor numai dinspre seleniu spre aur. Razele de lumină ce cad pe stratul de aur trec prin acesta, pătrunzând în zona joncţiunii aur–seleniu, unde determină emisia unor perechi electroni-goluri. Electronii vor trece în stratul de aur (deoarece se mişcă în sens invers câmpului de joncţiune) şi astfel prin circuitul exterior apare un curent electric.

Galvanometrul va indica acest curent *I*, care este proporţional cu fluxul luminos ce cade pe suprafaţa S a celulei:

$$I = k \cdot \Phi = k \cdot \mathrm{S} \cdot E, \qquad (3.26)$$

k fiind sensibilitatea celulei fotoelectrice cu seleniu.

Deci iluminarea suprafeţei celulei fotoelectrice este

$$E = \frac{I}{k \cdot \mathrm{S}}. \qquad (3.27)$$

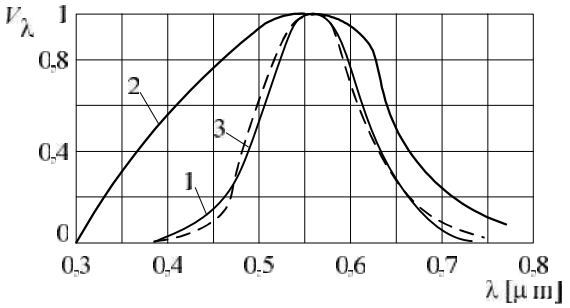


Fig. 3. 7 Curbele eficacităţii luminoase spectrale relative pentru: 1 - ochiul omenesc normal; 2 - celula fotoelectrică cu seleniu; 3 - celula fotoelectrică cu seleniu cu filtru.

Deoarece curba eficacităţii luminoase spectrale relative a celulei cu seleniu diferă mult de vizibilitatea relativă V_r a ochiului normal, este necesar un filtru de corecţie (*Fig. 3.7*).

În figura 3.8 este prezentat un luxmetru digital[28], care foloseşte ca senzor o fotodiodă cu siliciu.

Etalonarea luxmetrului este făcută în

[28] Model 93421 – produs de CH Beha GmbH Elektrotechnik-Elektronik, Deutschland.

concordanţă cu normele europene, folosindu-se o sursă de lumină standard ce are temperatura de culoare de 2.856 K.

Acest luxmetru – aparţinând gamei Unitest – a fost fabricat în conformitate cu standardul de calitate european ISO 9002 – NFX 50-121. El are patru domenii de măsurare, adică 0-20 lx, 0-200 lx, 0-2.000 lx şi 0-20.000 lx, erorile corespunzătoare celor patru domenii fiind 0,01 lx, 0,1 lx, 1 lx şi 10 lx.

Fig. 3. 8 Luxmetru digital: 1 - afişaj cu cristale lichide; 2 - afişarea domeniului de măsură; 3 - buton alimentare; 4 - buton memorare date; 5 - buton alegere domeniu; 6 - senzor (fotodiodă cu siliciu).

Pentru măsurări de precizie trebuie aplicate următoarele corecţii:

– de sensibilitate spectrală, obţinute cu filtre corespunzătoare (*Fig. 3.7*);

– corecţii de înclinare, pentru evitarea reflexiei unei părţi din fluxul luminos incident;

– corecţia de temperatură, pentru că intensitatea curentului de conversie fotovoltaică este influenţată de temperatura mediului ambiant.

Pentru măsurări ale iluminării pe teren trebuie respectate următoarele reguli:

– expunerea fotocelulei un timp de până la 15 minute la iluminarea ambientală, pentru stabilizarea fenomenului de conversie fotovoltaică;

– aprinderea lămpilor cu descărcări în gaze cu cel puţin 20 de minute înaintea efectuării măsurării, pentru ca regimul de funcţionare al lămpii să se stabilizeze;

– efectuarea măsurării după cel puţin 100 de ore de funcţionare a surselor noi cu descărcări în gaze, pentru obţinerea parametrilor nominali de funcţionare ai lămpilor.

Pentru calcularea unei valori medii cât mai corecte a iluminării se efectuează un număr mai mare sau mai mic de măsurări, în funcţie de dimensiunile încăperii, mobilarea acesteia, modul de dispunere a surselor e lumină, tipul de iluminat (general, local sau mixt). În acest sens, suprafaţa planului de lucru este împărţită în pătrate cu latura de 1-2 m, şi se măsoară iluminarea în centrul acestora.

De aceste considerente ţin seama soft-urile de proiectare a

iluminatului (ELBALux, DIALux, CalcuLux, Relux ş.a.).

3.2.4. Măsurarea luminanţei

Luminanţa poate fi exprimată – pornind de la relaţia de definiţia a acesteia *(2.14)*, ţinând cont de relaţia de definiţie a intensităţii luminoase *(2.10)*, şi de relaţia *(2.12)* – astfel:

$$L = \frac{\mathrm{d}E}{\mathrm{d}\Omega}, \qquad (3.28)$$

adică luminanţa unei suprafeţe reprezintă iluminarea acesteia văzută într-un unghi solid dΩ.

În consecinţă, luminanţmetrul este un luxmetru care captează lumina într-un con.

Luminanţa medie L_m a unei suprafeţe se va putea măsura în consecinţă

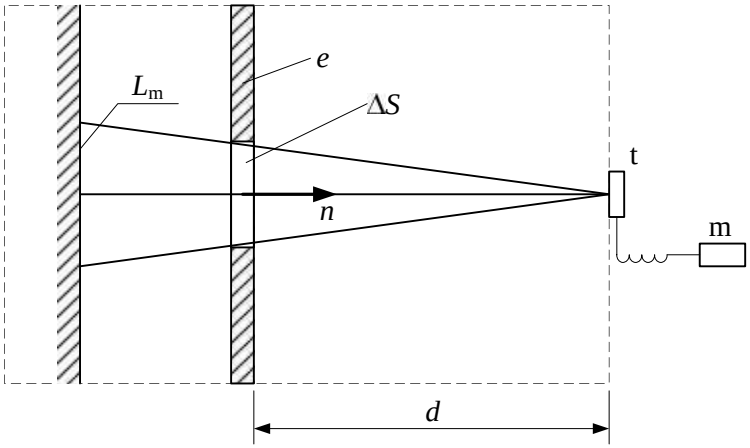


Fig. 3. 9 Măsurarea luminanţei medii L_m cu ajutorul luxmetrului m: e – ecran; ΔS – suprafaţa diafragmei; n – normala la suprafaţă; d – distanţa de la ecran la traductorul t (convertor fotovoltaic).

cu ajutorul unui luxmetru la care câmpul de măsură se reduce cu ajutorul ecranului *e*, în care este prevăzută diafragma cu suprafaţa Δ*S* – *Fig. 3.9*.

Această afirmaţie se bazează pe relaţia *(3.29)*:

$$L_\mathrm{m} = \frac{\Delta E}{\Delta\Omega} = \frac{\Delta E}{\frac{\Delta S \cdot \cos\alpha}{d^2}} = \frac{\Delta E \cdot d^2}{\Delta S}. \qquad (3.29)$$

Această metodă nu poate fi utilizată pentru măsurarea luminanţei punctuale, când trebuie introdus un sistem optic de concentrare punctuală,

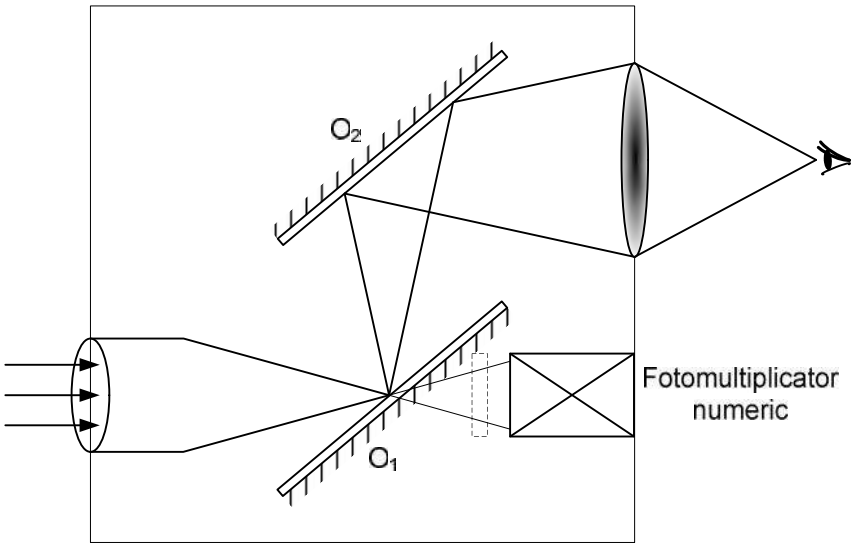


Fig. 3. 10 Măsurarea luminanţei punctuale.

cuplat cu un amplificator şi un indicator numeric. Oglinzile O_1 şi O_2 servesc la reducerea dimensiunilor aparatului, astfel încât zona punctuală vizată să fie receptată cu uşurinţă, înregistrându-se simultan afişarea luminanţei punctuale[29].

Luminanţmetrul LS-100/LS-110 (*Fig. 3.11*) funcţionează pe acest principiu, având sistemul optic de măsură indicat în figura 3.12.

Luminanţmetrul dispune de un selector al unităţilor de măsură *1*, montat pe capacul superior în locaşul de montare al bateriei. Cu ajutorul scalei de distanţă *2* se selectează distanţa estimată până la punctul vizat. Cu *3* este notat butonul de control al datelor, cu *4* butonul de comutare între valori de vârf şi valori continue, iar cu *5* butonul pentru fixarea punctului decimal când se foloseşte şi butonul *6*.

Cu *7* este notat comutatorul pentru calibrare, cu *8* butonul de începere şi de terminare a măsurării. Comutatorul ON/OFF este notat cu *9*. Luminanţmetrul poate fi conectat la calculator sau imprimantă prin intermediul conectorului *10*. Cu *11* este notată piuliţa pentru fixarea pe trepied, iar cu *12* suprafaţa rugoasă pentru prinderea cu mâna a aparatului.

Breteaua pentru siguranţă *13*, care se trece peste încheietura mâinii, protejează aparatul împotriva scăpării accidentale.

Indicatorul planului focal al aparatului *14* este folosit în cazul utilizării lentilelor de apropiere; de la punctul respectiv se măsoară distanţa faţă de planul în care se află punctul vizat.

[29] **Bianchi, C., ş.a.** *Sisteme de iluminat interior şi exterior*, Ed. Matrix Rom, Bucureşti, 2001.

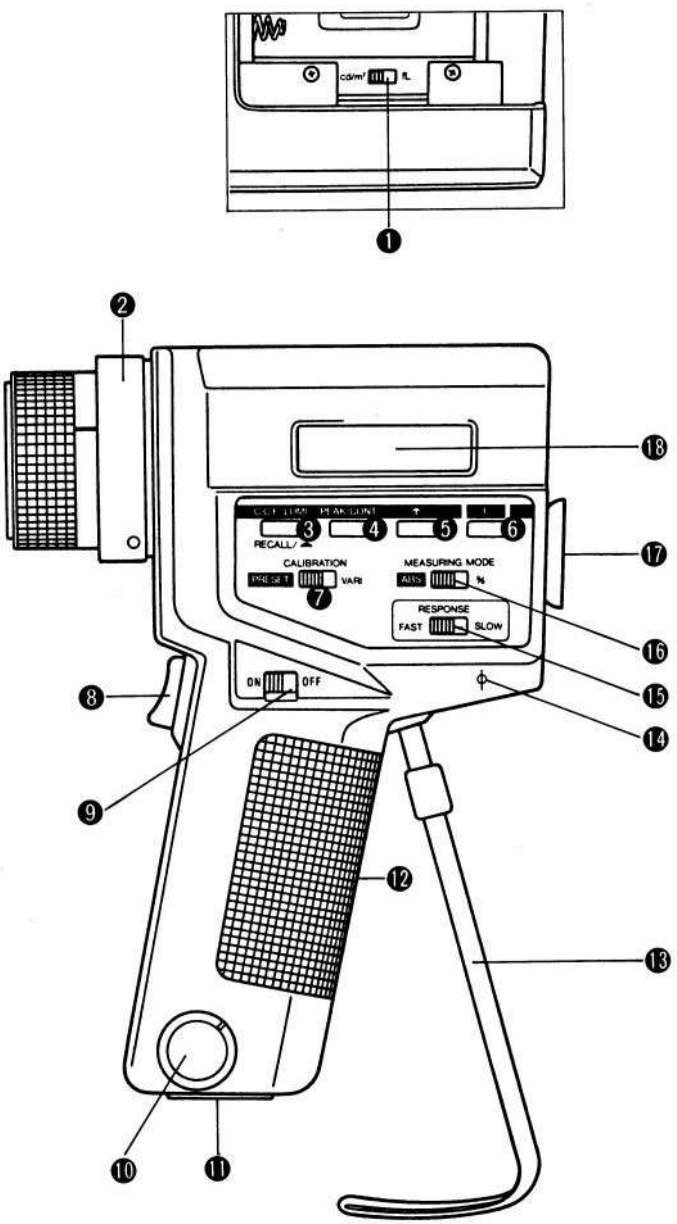


Fig. 3. 11 Luminanţmetrul LS-100 al firmei Konica-Minolta.

Cu *15* este notat selectorul de viteză, care permite măsurarea rapidă sau lentă a luminanţei punctului vizat.

Selectorul *16* permite alegerea modului de măsurare: absolut sau procentual. Cu *17* este notat ocularul, iar cu *18* este notat afişajul extern. Aparatul este prevăzut şi cu un afişaj intern, vizibil sub cercul de fixează punctul vizat.

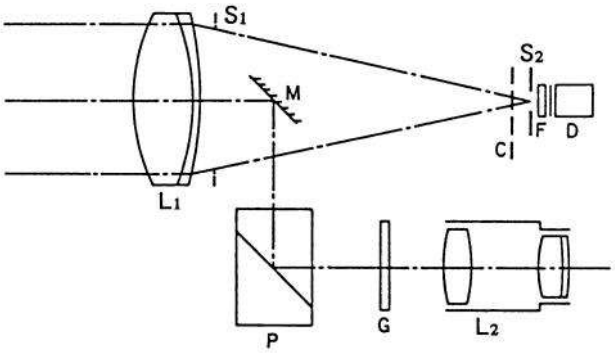


Fig. 3. 12 Sistemul optic de măsură al luminanţmetrului LS-100.

Sistemul optic de măsură al luminanţmetrului LS-100 funcţionează astfel: lumina de la punctul vizat intră prin lentila obiectivului L_1, trece prin diafragma obiectivului S_1, ajungând la oglinda cu reflexie totală M.

O mică parte din lumina care trece prin obiectiv este reflectată de oglinda M către prisma reflectantă Porro[30], care reflectă raza de lumină către ecranul de focalizare G şi ocularul prevăzut cu lentila L_2.

Cea mai mare parte a luminii care pătrunde prin obiectiv şi prima diafragmă trece prin chopper-ul C şi apoi prin diafragma S_2, plasată în faţa filtrului de corecţie F şi a fotocelulei cu siliciu D. Aceasta converteşte lumina în curent electric.

Răspunsul spectral al fotocelulei este filtrat, astfel încât să corespundă cu diagrama vizibilităţii relative spectrale a ochiului normal, corespunzător vederii fotopice – *Fig. 3.13*.

Sistemul electronic al luminanţmetrului LS-100 este reprezentat în

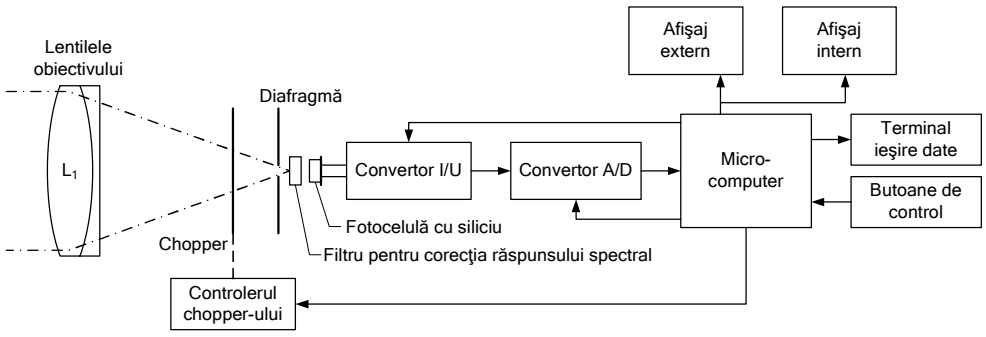


Fig. 3. 13 Sistemul electronic al luminanţmetrului LS-100.

[30] http://en.wikipedia.org/wiki/Porro_prism

figura 3.14. După ce lumina a fost convertită în curent electric, convertorul I/U converteşte curentul obţinut într-o tensiune proporţională cu acesta.

Semnalul de tensiune obţinut intră în convertorul analog-digital A/D, fiind transformat într-un semnal digital. Acest semnal este prelucrat de micro-computer, care determină datele ce afişează extern şi intern, în concordanţă cu setările făcute de către utilizator cu ajutorul butoanelor de control.

Luminanţmetrul LS-100 este calibrat în laboratoarele Ministerului Japonez al Comerţului Internaţional şi Industriilor.

3.2.5. Măsurarea distribuţiei spectrale

Distribuţia spectrală a surselor de lumină – fluxul luminos specific [W/m^2] – se determină cu ajutorul spectrofotometrului în laboratoare specializate. Spectrofotometrul reflectă diferitele lungimi de undă ale radiaţiei incidente, prin intermediul unor prisme optice, dirijând fluxul luminos cu ajutorul oglinzilor şi lentilelor, evidenţiind valorile mărimilor receptate pe diferite lungimi de undă. Datele obţinute pot servi şi la determinarea temperaturii de culoare (culorii aparente) şi a indicilor de redare a culorii R_i şi R_a.

Pentru măsurarea coordonatelor tricromatice *x, y, z* (ale **sistemului *x, y, z*** adoptat de CIE în 1931) se utilizează spectrofotometre ce utilizează trei celule fotometrice corespunzătoare celor trei funcţii colorimetrice $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$. Celulele fotoelectrice receptează cele trei componente valoric printr-un sistem similar cu cel utilizat de luxmetrul de laborator.

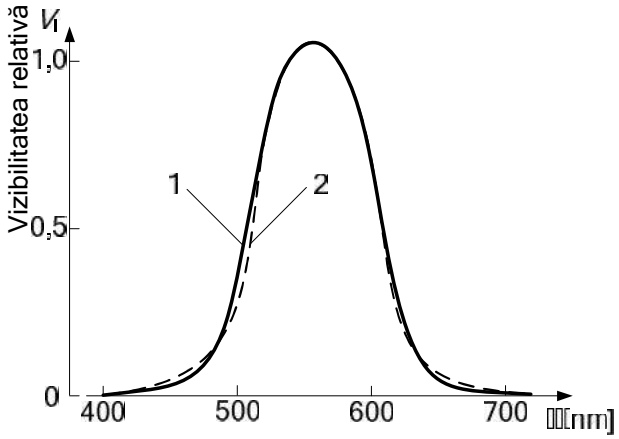


Fig. 3. 14 Curba răspunsului spectral al luminanţmetrului LS-100 – 1; curba vizibilităţii fotopice relative V_λ după CIE – 2.

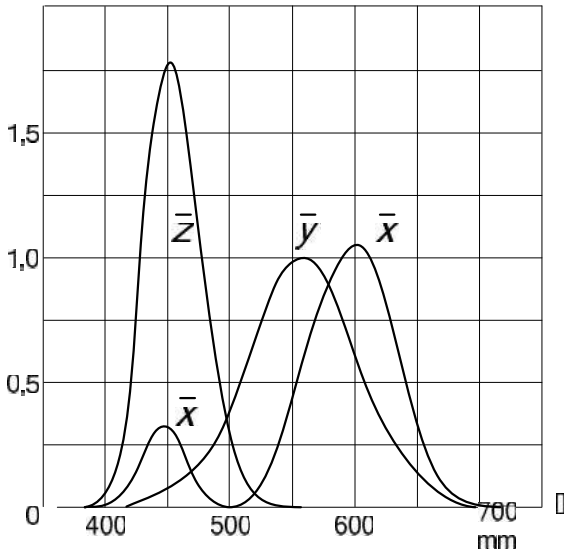


Fig. 3. 15 Funcţiile colorimetrice $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$.

Spectrofotometrele se cuplează la un calculator care afişează şi înregistrează valorile coordonatelor *x*, *y*, *z* pentru sursa considerată.

În figura 3.15 sunt redate funcţiile colorimetrice. Se constată că funcţia $y(\lambda)$ este identică cu vizibilitatea spectrală relativă a ochiului uman $V(\lambda)$ stabilită de CIE.

Folosind cele trei coordonate măsurate orice culoare poate fi descrisă în totalitate.

Cu ajutorul spectrofotometrului se pot stabili coordonatele de culoare ale surselor de lumină şi se poate determina indicele de redare a culorii.

Există şi spectrofotometre portabile[31].

[31] www.multilab.ro/MainPages/categorii/spectrofotometru-spectrofotometre.html

Capitolul 4. SURSE ELECTRICE DE LUMINĂ

4.1. Generalităţi

Sursa electrică de lumină reprezintă un aparat care converteşte energia electrică în energie luminoasă.

După modul de transformare al energiei electrice în energie luminoasă sursele electrice de lumină pot fi clasificate în mai multe categorii:

- lămpi **cu incandescenţă,** la care energia electrică este utilizată pentru a încălzi filamentele acestora la o temperatură la care radiaţiile emise posedă un anumit conţinut de radiaţii luminoase;
- lămpi **cu descărcări electrice în gaze sau vapori metalici**, la care radiaţiile luminoase apar ca urmare a fenomenelor de excitare a particulelor *(***electroluminescenţa**) în prezenţa sau în lipsa substanţelor **fotoluminiscente;**
- lămpi **cu arc**, la care se produc atât radiaţii termice cât şi efecte de electroluminiscenţă;
- lămpi **cu plasmă**, care utilizează gaze nobile sau amestecuri ale acestor gaze cu halogenuri metalice, sodiu, mercur sau sulfuri; ele emit radiaţii luminoase în spectrul ultraviolet, convertite apoi în radiaţii luminoase cu ajutorul unui luminofor;
- lămpi **cu LED-uri** (**L**ight **E**mission **D**iode) **de înaltă eficienţă**.

După frecvenţa reţelei de alimentare, lămpile pot fi:

- de **curent continuu** (de exemplu, lămpi auto);
- de **curent alternativ de joasă frecvenţă**;
- de **curent alternativ de înaltă frecvenţă** (0,25 MHz, 2,65 MHz, 13,6 MHz).

Alte surse[32] clasifică sursele electrice de lumină astfel:

- lămpi **cu incandescenţă** (normale, cu halogeni, cu reflector aluminizat parabolic, Nernst);
- lămpi **fluorescente** (tubulare, compacte, cu inducţie);
- lămpi **cu descărcări de înaltă intensitate** – HID (cu vapori de

[32] www.wikipedia.org/wiki/Electric_lamp

mercur, cu arc în mediu de iodură de mercur – HMI, cu iodură cu balon de cuarţ, cu halogenură metalică, cu vapori de sodiu);

- lămpi cu **descărcări în gaze** (cu arc cu deuteriu, cu neon, cu sulfuri, cu arc cu xenon, lămpi sterilizatoare);
- lămpi cu **arc electric** (cu cărbune, lumânare Yablochkov);
- lămpi cu **combustie** (acetilenă/carbid, argon, kerosen, ulei);
- **altele** (LED, stare solidă – SSL, plasmă, chimioluminiscenţă, radioluminiscenţă).

Sursele electrice de lumină se caracterizează (*Tabel 4.1*) prin:

– **puterea electrică** consumată de lampă, cu sau fără balast, [W];

– **tensiunea de alimentare**, care reprezintă valoarea tensiunii la care lampa poate fi alimentată cu energie electrică;

– **fluxul luminos** [lm], care se măsoară la o temperatură a mediului de 25ºC, la 15 minute după aprindere – pentru lămpile fluorescente, după 100 ore de funcţionare la sistemele de iluminat noi cu lămpi fluorescente;

– **curba fotometrică**, care reprezintă distribuţia fluxului luminos, în planul/planele de simetrie ale acesteia;

– **eficienţa luminoasă** [lm/W], reprezentată de raportul dintre fluxul luminos emis de lampă şi puterea electrică consumată;

– **durata de viaţă** [h], considerată ca fiind intervalul de timp de la punerea în funcţiune până când, statistic, jumătate din lămpi sunt încă funcţionale; de regulă, durata de viaţă este dată în literatură grafic sau tabelar;

– **reducerea fluxului luminos** (factorul de menţinere) [%]. Se consideră că o lampă funcţionează eficient de la punerea în funcţiune până când valoarea fluxului luminos emis scade la 80% din valoarea fluxului luminos iniţial;

– **temperatura de culoare** [K] a luminii emise de lampă este temperatura la care este încălzit corpul negru pentru a emite aceeaşi lumină ca şi a lămpii considerate;

– **culoarea luminii** [K], care are în vedere efectul psihologic a luminii emise de lampă, asupra omului; se disting culori albe-calde (gălbui), caracteristice lămpilor cu temperaturi de culoare sub 3.300 K, culori intermediare (relativ reci), caracteristice lămpilor cu temperaturi de culoare între 3.300 K şi 5.300 K şi culori reci, caracteristice lămpilor cu temperaturi de culoare mai mari de 5.300 K;

– **redarea culorilor**, care reprezintă modul în care se manifestă efectul luminii asupra cromaticii obiectelor iluminate; redarea culorilor este indicată prin indicele de redare a culorii R_a, definit cu relaţia *(2.23)*; indicele de redare a culorii R_a este cu atât mai mare cu cât culoarea redată cu ajutorul unei surse electrice de lumină este mai apropiată de aceeaşi culoare redată cu ajutorul luminii naturale, iar valoarea maximă a acestui indice este 100; clasificarea sursele de lumină în funcţie de nivelul de redare a culorilor este

prezentată în tabelul 4.2 şi cuprinde cinci clase;

– **timpul de încălzire** [s], care reprezintă timpul necesar pentru a se încălzi şi a emite fluxul luminos total; la lămpile cu descărcări el este de la câteva secunde la câteva minute;

– **timpul de reaprindere** [s], caracteristic lămpilor cu descărcări şi înaltă presiune, care au nevoie de câteva minute pentru a se răci înainte de a se putea aprinde din nou;

– **capacitatea de reducere a fluxului luminos** (dimming), care reprezintă posibilitatea lămpii electrice de a-şi reduce fluxul luminos odată cu scăderea tensiunii de alimentare, rămânând însă în funcţiune; această capacitate este utilă în reducerea consumului de energie pe perioade din noapte, când circulaţia este redusă pe străzi, sau în încăperi, când este sesizată lipsa persoanelor (iluminat inteligent); anumite lămpi nu au încă această capacitate, deoarece apar efecte incontrolabile asupra calităţii luminii emise (lămpi cu halogenuri metalice); lămpile cu vapori de sodiu permit reducerea fluxului luminos ca urmare a reducerii tensiunii de alimentare, dar numai la nivele discrete; lămpile cu incandescenţă şi cele fluorescente moderne au această capacitate;

– **poziţia de lucru**; majoritatea lămpilor electrice se pot aprinde şi funcţiona în orice poziţie, iar anumite lămpi (cu halogenuri metalice) pot funcţiona numai în anumite poziţii, specificate de producător; la alte lămpi (LFC) fluxul luminos şi temperatura de culoare se pot modifica în funcţie de poziţia de aprindere şi de funcţionare a lămpii;

– **tipul soclului**, care depinde de tipul lămpii; soclul lămpii permite conectarea acesteia în circuitul electric, şi în consecinţă alimentarea ei cu energie electrică.

Lămpile se diferenţiază prin construcţie, funcţionare, caracteristici. Fiecare producător urmăreşte lansarea pe piaţă a celor mai performante lămpi, urmărind în acelaşi timp reducerea preţului acestora.

Concurenţa între firmele producătoare le-a determinat să investească sume mari în cercetarea pentru obţinerea de lămpi cât mai performante, cu un spectru de radiaţie cât mai larg, apropiat de cel al luminii naturale. Astfel, prin utilizarea unor tehnologii moderne au rezultat lămpile fluorescente de tip multifosfor, cu un indice de redare a culorii de 95-98 şi o eficacitate luminoasă de 64-65 [lm/W], şi lămpile cu vapori de sodiu de înaltă presiune cu spectru de radiaţie îmbunătăţit, cu un indice de redare a culorii de 60 şi o eficacitate luminoasă de 60 [lm/W].

În Europa, aparatele electrocasnice, inclusiv lămpile electrice, sunt supuse **etichetării energetice**. Directivele 97/75/CEE şi 98/11/CE ale Comisiei Europene legiferează modul de etichetare energetică[33].

[33] **Pop, F. R. ş.a.** *Eficienţa energetică în iluminat,* Editura Energobit, Cluj-Napoca, 2005.

Eticheta energetică şi Fişa de informare asigură informaţii care permit caracterizarea unui anumit model de aparat şi comparaţia lui cu alte modele, similare sau nu. Eticheta definită de directivele amintite mai sus conţine indicaţiile de bază ale unei surse de lumină:

– clasa de eficienţă energetică: de la A la G, A fiind clasa cea mai performantă (consumul anual cel mai redus [kWh]);
– fluxul luminos [lm];
– puterea absorbită [W];
– durata de viaţă [h];
– tensiunea de funcţionare [V].

Tabel 4.1

Tip lampă	Putere [W]	Flux luminos [lm]	Eficaci-tate [lm/W]	Culoare aparentă	Redarea culorilor	Temp. de culoare [K]	Timp de aprindere/ reaprindere [min.]
LIC	15-500	120-8400	8-17	alb cald	foarte bună (100)	2700	0/0
LIH	75-2000	975-50000	13-25	alb cald	foarte bună (100)	3200	0/0
LFC	9-25	450-1200	41-50	alb cald	bună (80)	2700-5000	<1/0
LFT	15-140	750-7300	50-104	alb cald-alb lumina zilei	moderată-foarte bună	2700-5000	0/0
LMF	100-2000	1100-150000	11-83	intermediar-alb rece	moderată-foarte bună	3000-4500	3/5-10
LMH	70-1800	5100-150000	73-83	alb rece	bună-foarte bună	3000-4500	3/10
SOX	18-180	1800-33000	100-200	galbenă	–	1800	>10/2
SON	50-1000	3300-130000	55-140	alb auriu	slabă-moderată	1800-2200	5/<1
LQ	85	6000	70	alb cald-alb rece	bună	3500-6500	0/0

Tabel 4.2

Indicele de redare a culorii R_a	>90	$80<R_a<90$	$60<R_a<80$	$40<R_a<60$	$20<R_a<40$
Clasa de culoare	1A	1B	2A	2B	3

În figura 4.1 este reprezentată durata de viaţă a diferitelor tipuri de lămpi, iar în figura 4.2 curbe de variaţie a fluxului luminos (factorului de menţinere) în funcţie de durata de viaţă pentru diferite tipuri comerciale de lămpi.

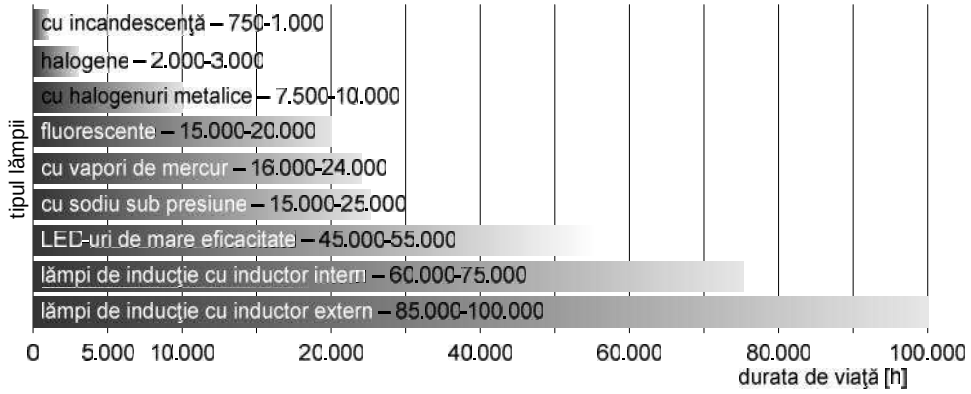


Fig. 4. 1 Durata de viaţă a diferitelor tipuri de lămpi.

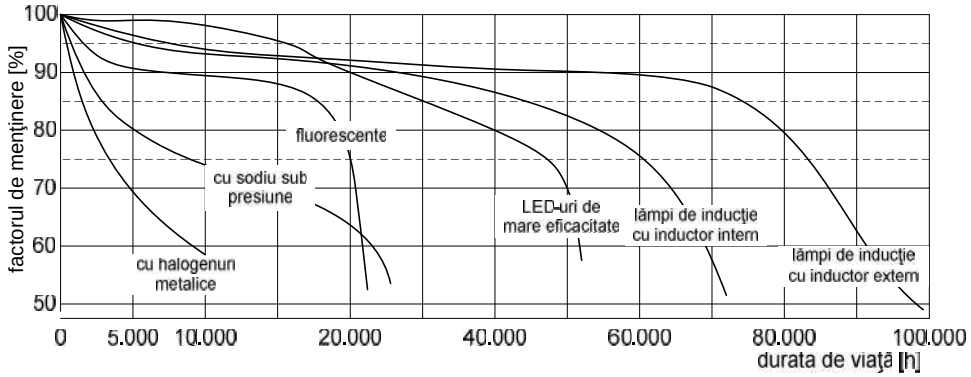


Fig. 4. 2 Curbe de variaţie a fluxului luminos (factorului de menţinere) în funcţie de durata de viaţă pentru diferite tipuri comerciale de lămpi.

4.2. Lămpi electrice cu incandescenţă

4.2.1. Lămpi cu incandescenţă clasice (LIC)

Lampa cu incandescenţă a fost inventată în secolul al XIX-lea, când 22 de inventatori au propus diverse variante ale acestei lămpi, până la Joseph P. Swan şi Thomas A. Edison[34]. Acesta din urmă este considerat ca inventator al lămpii cu incandescenţă deoarece a fost capabil să combine trei factori:

[34] http://www.en.wikipedia.org/wiki/incandescent_light_bulb

– un material incandescent care să reziste în timp;

– un balon vidat, care era capabil să păstreze vidul din interior;

– o rezistenţă corespunzătoare a lămpii, capabilă să fie alimentată cu energie dintr-o sursă centralizată.

Lampa cu incandescenţă asigură o culoare ambientală caldă şi contribuie la redarea excelentă a culorilor (R_a=100).

La aceste lămpi emisia de radiaţii luminoase are loc prin încălzirea unui filament de wolfram la o temperatură între 2.000 şi 3.000 K. Filamentul lămpii, simplu sau dublu-spiralat, este închis într-un balon din sticlă cu vid înaintat – soluţie depăşită – sau umplut cu un gaz inert (amestec de azot şi argon). Folosirea amestecului de gaz inert permite reducerea vitezei de volatilizare a filamentului de wolfram şi deci determină o mărire a duratei de utilizare a lămpii.

La această temperatură radiaţiile emise sunt într-un anumit procent (sub 5%) în domeniul vizibil (*Fig. 2.12*).

Pentru o lampă cu incandescenţă care absoarbe din reţea 100 W, 5 W reprezintă puterea corespunzătoare radiaţiilor emise în domeniul vizibil, 61 W reprezintă puterea corespunzătoare radiaţiilor în infraroşu, iar 34 W reprezintă pierderile prin conducţie şi convecţie, de la filament la balonul de sticlă[35].

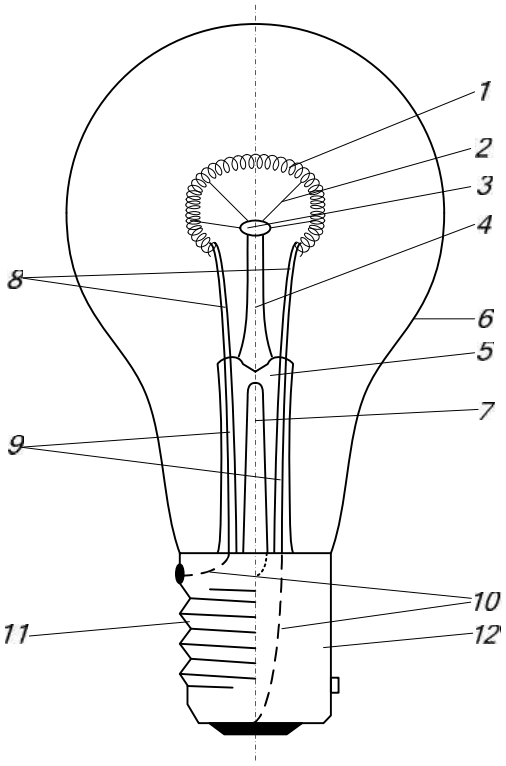


Fig. 4. 3 Lampa electrică cu incandescenţă.

Filamentul de wolfram sau tungsten *1* (*Fig. 4.3*) este susţinut de către cârligele de molibden *2*, fixate pe extremitatea *3* a bastonaşului de sticlă din lampă *4*. Bastonaşul este montat pe discul (sau lopăţica) *5*, care la rândul lui este sudat de balonul din sticlă *6*. Evacuarea aerului şi umplerea cu gaz inert a balonului se face prin tubul *7*, care este apoi închis. Electrozii *8* din interiorul lămpii sunt confecţionaţi din cupru (la lămpile cu vid) sau din nichel (la lămpile cu gaz

[35] **Bianchi, C., ş.a.** *Sisteme de iluminat interior şi exterior*, Ed. Matrix Rom, Bucureşti, 2001.

inert). Porţiunea din electrozi *9* care se află în discul de sticlă trebuie să asigure etanşeitatea lămpii în condiţii normale de funcţionare, dar şi în condiţii de nefuncţionare. Din acest motiv, acea porţiune este confecţionată dintr-un aliaj cu acelaşi coeficient de dilatare ca şi sticla. Acest aliaj este de regulă realizat din cupru, fier şi nichel[36]. Porţiunea din exterior a electrozilor *10* se realizează din cupru şi se sudează la contactele exterioare ale soclului. Balonul de sticlă se fixează cu chit special pe soclu, care poate fi de tip Edison (*11*) sau tip baionetă (*12*).

Eficacitatea luminoasă a lămpilor cu incandescenţă este de 8÷17 lm/W. Durata medie de funcţionare a unei lămpi obişnuite este de circa 1.000 ore. Luminanţa lămpilor cu incandescenţă este mare, fiind cuprinsă între $200 \cdot 10^4$ şi $1.200 \cdot 10^4$ nt, provocând orbirea (luminanţa Soarelui este $160.000 \cdot 10^4$ nt). Eficacitatea luminoasă scade în timpul funcţionării, menţinerea în funcţionare a unei lămpi fiind considerată economică până la scăderea fluxului luminos cu 20% din valoarea nominală.

Lămpile cu incandescenţă se fabrică pentru puteri cuprinse între zecimi de watt şi 1.000 W, pentru tensiuni de alimentare începând de la câţiva volţi (1,5 V) şi mergând până la sute de volţi (500 V).

În prezent durata utilă a lămpilor cu incandescenţă este egală cu durata lor de viaţă.

Compoziţia spectrală a fluxului luminos emis de lămpile cu incandescenţă este bogată în radiaţii cu lungimi de undă mari – radiaţii calde din punct de vedere psihologic: roşu, galben – şi mai săracă în radiaţii reci – din punct de vedere psihologic: albastru, violet. Parametrii lămpilor au o dependenţă accentuată faţă de temperatura filamentului, deci faţă de tensiunea de alimentare: creşterea tensiunii determină creşterea puterii electrice absorbite, a fluxului luminos emis şi a eficacităţii luminoase, dar scurtează durata de viaţă foarte rapid. Concomitent cu creşterea tensiunii de alimentare creşte şi ponderea radiaţiilor reci, lumina lămpii cu incandescenţă apropiindu-se de lumina zilei. Scăderea tensiunii de alimentare determină micşorarea fluxului luminos emis şi în acelaşi timp creşte ponderea radiaţiilor calde. Lumina emisă devine roşiatică spre gălbui. Din aceste motive standardele româneşti limitează variaţia tensiunii de alimentare a lămpilor faţă de tensiunea nominală.

În ultimul timp, producerea şi comercializarea lămpilor cu incandescenţă utilizate în iluminatul interior este interzisă din cauza eficacităţii luminoase foarte scăzute. Când tehnologia va permite obţinerea unor materiale care să poată fi încălzite la peste 5.500 K, pentru realizarea filamentului, lampa cu incandescenţă va reveni în actualitate.

[36] **Centea, O., Bianchi, C.** *Instalaţii electrice*, Ed. Didactică şi Pedagogică, 1973.

4.2.2. Lămpi cu incandescenţă cu halogeni (LIH)

Aceste lămpi – numite şi lămpi cu incandescenţă cu ciclu regenerativ de halogeni – au apărut ca urmare a necesităţii reducerii sau chiar eliminării fenomenului de evaporare a filamentului din wolfram şi a depunerii acestuia pe interiorul balonului de sticlă.

Spaţiul interior al lămpii este umplut cu halogeni, mai des utilizat fiind iodul. Acesta asigură o autocurăţire a balonului de stratul de wolfram depus (iodul formează cu wolframul depus pe balon – la temperatură relativ scăzută (cca 450 K) – o iodură volatilă, care în apropierea filamentului şi la temperatură ridicată (cca 3.000 K) se descompune în iod şi wolfram; wolframul se depune din nou pe filament, deci lămpile cu iod realizează un ciclu de regenerare, transportând dinspre balonul de sticlă wolframul depus pe acesta datorită evaporării). Pe lângă durata utilă de funcţionare mai mare lămpile cu iod asigură o eficacitate luminoasă cu circa 30% mai mare şi au dimensiuni mai mici decât lămpile obişnuite la aceeaşi putere.

Eficacitatea luminoasă este cuprinsă între 20 şi 30 lm/W, iar durata de funcţionare ajunge la 2.000 de ore.

Balonul acestor lămpi este realizat adesea din sticlă de cuarţ, care este mai rezistentă la temperatură şi presiune ridicate, dar este sensibilă la unii agenţi chimici. Balonul lămpii cu halogeni nu trebuie atins direct cu mâna, deoarece grăsimea de pe degete – la temperaturile înalte ale balonului – conduce la distrugerea acestuia.

4.3. Lămpi electrice cu descărcări în gaze sau vapori metalici

4.3.1. Generalităţi

Luminiscenţa gazelor sau vaporilor metalici este determinată de excitarea şi dezexcitarea atomilor gazului sau vaporilor metalici, sub acţiunea câmpului electric.

Caracteristica tensiune–curent (U_l–I) a descărcării în gaze sau vapori metalici este indicată în figura 4.4. Pentru reprezentarea curentului pe abscisă s-a folosit scara logaritmică. Considerăm un tub de sticlă, conţinând un gaz sau vapori metalici în stare rarefiată (joasă presiune), prevăzut la capete cu doi electrozi, cărora li se aplică o tensiune U_l a cărei valoare se poate modifica.

În porţiunea OA, tensiunea aplicată la electrozii tubului fiind de valoare mică provoacă doar deplasarea către electrozii corespunzători a electronilor şi a ionilor liberi. Curentul electric este extrem de mic. Deoarece pe această porţiune nu are loc şi emisie de radiaţii vizibile por-

ţiunea respectivă se numeşte **zona descărcării întunecoase**.

Când tensiunea U_l atinge valoarea corespunzătoare punctului A (tensiune de amorsare) are loc o accelerare a electronilor liberi, care acumulează suficientă energie cinetică pentru a excita şi ioniza atomii de gaz. În urma ciocnirilor, apar noi electroni şi ioni, care – acceleraţi în câmpul electric din gaz – vor genera noi ionizări. Apare astfel o multiplicare în avalanşă a electronilor şi ionilor, având drept consecinţă o creştere a valorii curentului electric prin tub, la o valoare aproximativ constantă a tensiunii – porţiunea BC. Această zonă este denumită **zona descărcării luminiscente**, deoarece descărcarea în această zonă este însoţită de emisie de radiaţii luminoase. În zona BC se situează punctul de funcţionare al lămpilor luminiscente cu catodul rece.

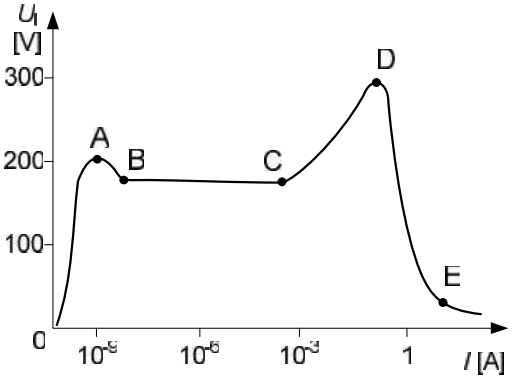


Fig. 4. 4 Caracteristica tensiune-curent a descărcării în gaze sau vapori metalici.

Mărirea valorii tensiunii peste cea corespunzătoare punctului D determină o creştere masivă a numărului de ioni pozitivi, care căzând pe catod îi cedează acestuia energia acumulată, favorizând emisia termoelectronică. Are loc o descărcare luminiscentă în arc – porţiunea DE, caracterizată prin scăderea tensiunii pe tub. În această zonă se situează punctul de funcţionare al **lămpilor fluorescente cu catod cald** şi al **lămpilor cu arc**.

Datorită pantei negative a caracteristicii descărcărilor electrice în vapori metalici sau gaze, sunt necesare elemente de stabilizare a regimului de funcţionare, numite **balasturi.** Acestea pot fi rezistoare, bobine, condensatoare, transformatoare cu dispersie mărită. Balastul trebuie să îndeplinească următoarele cerinţe:

- să asigure stabilizarea descărcării;
- să realizeze un factor de putere ridicat;
- să aibă un conţinut redus de armonici superioare;
- să asigure atenuarea paraziţilor radio-tv;
- să aibă o funcţionare silenţioasă;
- să aibă un timp de viaţă cât mai lung.

În ultimul timp balasturile clasice au fost înlocuite cu balasturi

electronice prevăzute cu convertor de frecvenţă, în gama 20-100 kHz. Creşterea frecvenţei duce la eliminarea fenomenului de pâlpâire. Acest fenomen este caracteristic lămpilor cu descărcări în gaze sau vapori metalici alimentate în curent alternativ şi se datorează trecerii prin zero a curentului de două ori într-o perioadă. La alimentarea acestor lămpi cu tensiune de la reţea frecvenţa pâlpâirii este în consecinţă de 100 Hz. Fenomenul de pâlpâire determină efectul stroboscopic.

Lămpile cu descărcări în gaze sau vapori metalici se pot clasifica astfel:

– lămpi cu descărcări luminiscente (în licărire), folosind lumina catodică;

– lămpi cu descărcări luminiscente (în licărire), folosind coloana pozitivă;

– lămpi cu descărcare în arc cu vapori metalici (mercur, sodiu, thaliu, indiu) sau cu gaze (xenon).

Lămpile cu descărcări luminiscente folosind lumina catodică menţin tensiunea constantă indiferent de variaţia curentului. Funcţionează în curent continuu sau alternativ, fiind construite pentru puteri de 1÷3 W, la tensiunea de 220 V. Fluxul luminos este de circa 1 lm. Sunt folosite pentru semnalizare, control, sincronizare, stabilizatoare de tensiune la puteri mici. Durata de funcţionare este de 1.000-2.000 de ore. Electrozii acestor lămpi sunt foarte apropiaţi, eliminându-se astfel coloana pozitivă. Atmosfera în care are loc descărcarea este amestec de neon şi heliu, la o presiune cuprinsă între 5 şi 25 mmHg, motiv pentru care culoarea luminii este roşie-gălbuie.

Lămpile cu descărcări luminiscente folosind lumina pozitivă sunt folosite pentru reclame luminoase, culoarea radiaţiei luminoase fiind dependentă de natura gazului utilizat (roşie, portocalie – pentru neon, galbenă – pentru heliu, albastră – pentru amestec de argon cu vapori de mercur). Eficacitatea luminoasă este de 2÷18 lm/W, iar durata de funcţionare atinge 5.000 de ore.

Pentru amorsare aceste lămpi au nevoie de o tensiune cu 25-30% mai mare decât tensiunea de funcţionare, de aceea pentru alimentarea tuburilor şi stabilizarea descărcării se folosesc transformatoare de înaltă tensiune (220-1.100 V) cu reactanţă de scăpări mărită, la care tensiunea de mers în gol este cu circa 50% mai mare decât tensiunea nominală. Presiunea în tub variază între 1 şi 10 mmHg. Lungimea acestuia poate fi oricât de mare, cu creşterea lungimii crescând însă şi valoarea tensiunii de alimentare.

Lămpi cu vapori de mercur cu descărcări în arc. Fluxul luminos al acestor lămpi se datorează radiaţiilor monocromatice emise în timpul descărcării electrice în arc. Alături de radiaţiile vizibile are loc o puternică emisie de radiaţii pe lungimi de undă din domeniul ultraviolet.

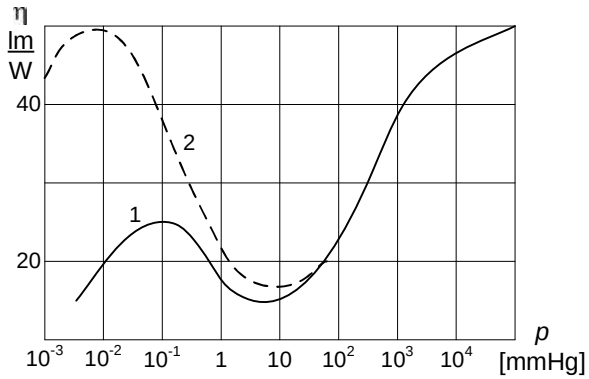


Fig. 4. 5 Eficacitatea luminoasă în funcţie de presiunea vaporilor: 1 - balon din sticlă cu cuarţ; 2 - balon fluorescent.

Pentru a mări eficacitatea luminoasă a lămpilor cu vapori de mercur se măreşte presiunea acestor vapori (*Fig. 4.5*).

Conţinutul ridicat de radiaţii ultraviolete (λ=0,18÷0,40 μm) al spectrului de emisie caracteristic lămpilor cu vapori de mercur de *joasă presiune* le face utilizabile la sterilizarea apei, aerului, alimentelor, în tehnica medicală etc. Aceste lămpi **nu** se utilizează în tehnica iluminatului, în schimb lămpile cu vapori de mercur la presiuni mari sunt folosite în iluminatul public, în special acolo unde trebuie luminate spaţii mari.

Datorită curbei fotometrice neconvenabile, care determină o mare neuniformitate în iluminatul exterior, în ultima vreme aceste lămpi sunt înlocuite cu lămpi cu vapori de sodiu, care – în plus – au şi o eficacitate luminoasă mai mare.

4.3.2. Lămpi fluorescente tubulare sau toroidale

Lămpile fluorescente (LF) sunt lămpi cu vapori de mercur de joasă presiune (0,01 mmHg), utilizând coloana pozitivă, care – prin intermediul luminoforului depus pe peretele interior al tubului de sticlă – convertesc radiaţiile ultraviolete puternice care caracterizează descărcarea în vapori de mercur, în radiaţii luminoase.

Descărcarea în lampa fluorescentă determină radiaţii în spectrul ultraviolet (cca 95%) şi în spectrul vizibil (cca 5%). Radiaţiile emise în spectrul ultraviolet sunt în benzile de 253,7 nm (majoritatea) şi 185 nm (o parte foarte mică).

Funcţionarea optimă a lămpii fluorescente are loc la o temperatură a mediului ambiant de 25ºC. În tabelul 4.3[37] sunt indicate dimensiunile şi soclurile tuburilor fluorescente pentru diverse puteri, dimensiuni care sunt standardizate (SR EN 60598-1/2001).

Diametrul tubului este determinat de câmpul electric existent în

[37] **Bianchi, C., ş.a.** *Sisteme de iluminat interior şi exterior*, Ed. Matrix Rom, Bucureşti, 2001.

lampă, iar lungimea tubului este determinată – în principal – de diferenţa de potenţial aplicată lămpii, de fluxul luminos dorit, precum şi de posibilitatea de standardizare, în scopul reducerii costurilor de execuţie prin stabilirea unui număr limitat de dimensiuni.

Lămpile fluorescente se execută de regulă sub formă tubulară (LFT), dar există şi lămpi de formă toroidală. Pentru lămpile toroidale de 32 W, diametrul torului este de 305 mm, iar diametrul tubului de sticlă din care se realizează este de 32 mm. Pentru lămpile toroidale de 40 W, diametrul torului este de 406 mm, iar diametrul tubului de sticlă din care se realizează este tot de 32 mm.

Lămpile fluorescente sunt echipate cu două socluri, amplasate la cele două capete ale tubului, fiind prevăzute cu terminaţii bipolare pentru conexiune. Cifra ataşată tipului de soclu reprezintă distanţa dintre cele două terminaţii bipolare, exprimată în milimetri, de exemplu G5 înseamnă că distanţa între terminalele electrozilor este de 5 mm.

Tabel 4.3

Putere [W]	Tip soclu	Diametrul tubului [mm]	Lungimea tubului [mm]
4	G5	16	136
6	G5	16	212
8	G5	16	288
13	G13	16	517
14	G13	26	360
15	G13	26	437
16	G13	26	590
18	G13	26	590
20	G13	38	590
30	G13	26	895
36	G13	26	1200
38	G13	26	1047
40	G13	38	1200
58	G13	26	1500
65	G13	38	1500

Luminoforul determină caracteristicile luminoase ale lămpii, şi anume temperatura de culoare, indicele de redare a culorilor (R_a) şi eficacitatea luminoasă a tubului fluorescent. Aceste caracteristici sunt dependente de compoziţia acestuia – *Fig. 4.6.* Spre exemplificare, în gama de culoare 80 Philips în componenţa stratului fluorescent intră aluminat de bariu şi magneziu (curba *1*), când maximum de emisie corespunde lungimii de undă de 447 nm, borat de de magneziu (curba *2*), când maximum de emisie corespunde lungimii de undă de 542 nm, şi oxid de ytriu (curba *3*), când maximum de emisie corespunde lungimii de undă de 610 nm.

Luminoforul este constituit dintr-un amestec de substanţă de bază, substanţă activatoare şi fondant. Substanţa de bază trebuie să îndeplinească o serie de condiţii, şi anume:

- să aibă capacitate de absorbţie pe lungimea de undă de 0,2537 μm (lungimea de undă a emisiei vaporilor de mercur);
- să absoarbă cât mai puţin radiaţia vizibilă;
- să aibă o inerţie luminoasă mare, pentru a reduce efectul stroboscopic;
- să determine o compoziţie spectrală a luminii cât mai apropiată de cea a luminii diurne;
- să aibă punct de topire ridicat;
- să nu se degradeze în condiţiile existente în tub;
- să fie uşor de aplicat pe pereţii tubului.

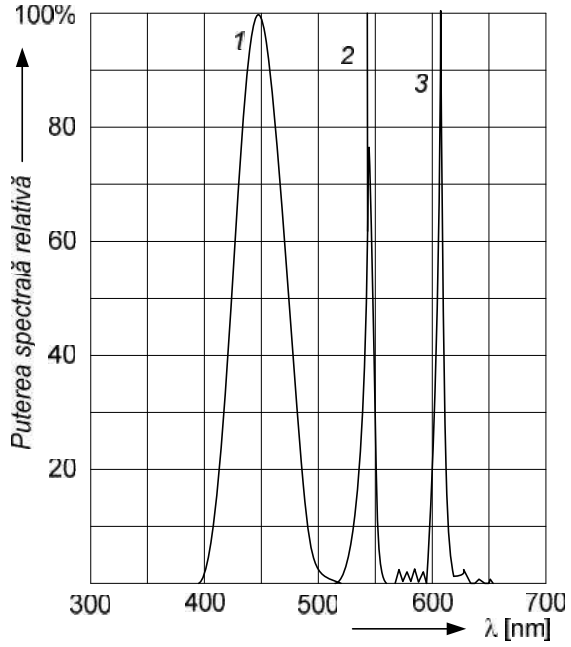


Fig. 4. 6 Distribuţia spectrală relativă pentru luminofori din gama 80 Philips: 1 – aluminat de bariu şi magneziu (BAM); 2 – borat de magneziu (CBT); 3 – oxid de ytriu (YOX).

Ca substanţă de bază se utilizează amestecuri de silicaţi de zinc, beriliu, cadmiu – care emit radiaţii verzi-gălbui, galbene, portocalii, wolframaţi de magneziu şi de calciu – care emit lumină albastră, borat de cadmiu – care emite lumină roşiatică, halogeno-fosfaţii – care emit lumină albă.

Ca substanţe activatoare sunt folosite metale grele (cupru, argint, bismut) sau pământuri rare, care se adaugă în cantităţi foarte mici (0,1÷1%), pentru a iniţia producerea excitaţiei luminoase.

Fondantul asigură formarea cristalelor complexe ale luminoforului. Acesta poate fi NaCl, CaF_2, $Na_2B_4O_7$ etc.

Substanţa fluorescentă se aplică pe peretele interior al tubului de sticlă cu ajutorul unui liant (nitroceluloză), sub forma unui strat de pulbere fină (cristale de 2÷4 μm). Există şi alte straturi care se aplică pe suprafaţa tubului, cu roluri diferite:

- strat de silicon – aplicat în exteriorul tubului – în vederea prevenirii problemelor determinate de umiditate în aprinderea şi funcţionarea tubului, când acesta este destinat să funcţioneze în circuite fără starter;
- strat conductor (dioxid de indiu sau de staniu) – aplicat între stratul fluorescent şi peretele de sticlă – pentru a asigura aprinderea lămpii între limite mari de temperatură;
- strat reflector (pentru lampa cu reflector înglobat) format din dioxid de aluminiu opac-alb – aplicat între stratul fluorescent şi pereţii tubului.

La aceste lămpi fluxul luminos este emis numai prin zona prevăzută cu strat luminofor normal.

Electrozii tubului – dublu spiralaţi – sunt aşezaţi la cele două capete ale tubului, furnizează electronii necesari descărcării. Ei sunt realizaţi dintr-un filament de wolfram, acoperiţi cu un strat emisiv de oxid de bariu, stronţiu sau calciu, putând fi calzi (900÷950°C) sau reci (150÷200°C). Au capetele scoase în afara tubului, pentru a putea fi racordaţi la circuitul exterior.

Tabel 4.4[38]

Culoarea aparentă		Temperatura de culoare T_c [K]
Caldă		<3.300
Neutră	Neutră-caldă	3.300…4.000
	Neutră-rece	4.000…5.300
Rece		>5.300

Lămpile fluorescente se caracterizează prin:

– luminanţă redusă $(3\div10)\cdot10^3$ nt (cd/m^2);

– eficacitate luminoasă mare (50-110 lm/W);

– durată de funcţionare mare (3.500÷7.500 ore) – dependentă de

[38] *Normativ pentru proiectarea şi executarea sistemelor de iluminat artificial din clădiri,* Indicativ: NP 061-02.

numărul de conectări şi de fabricant, la unele tipuri putându-se ajunge la 20.000 de ore de viaţă (vezi şi figura 4.1);

– temperatură redusă a tubului (cca 40°C);

– prezenţa efectului stroboscopic.

Curentul prin tubul fluorescent este cuprins între 0,25 şi 1 A. Temperatura de culoare variază între 2.700 şi 7.500 K – *Tabel 4.4*.

În tabelul 4.5[39] sunt prezentate caracteristici ale lămpilor fluorescente tubulare produse de către firma Philips.

Tabel 4.5

Culoare		Cod culoare Philips	Temperatura de culoare [K]	Indice de redare a culorilor R_a	Eficacitate luminoasă [lm/W]
Alb-cald	R_a<80	29	2.900	51	83
	80< R_a<90	82	2.700	85	90
		83	3.000	85	96
	R_a>90	92	2.700	95	63
		93	3.000	95	64
Alb	R_a<80	35	3.500	57	76
Alb-rece	R_a<80	33	4.100	63	83
		25	4.000	70	69
	80< R_a<90	84	4.000	85	96
	R_a>90	94	3.800	95	65
Alb-lumina zilei	R_a>90	95	5.300	98	65
Alb-rece lumina zilei	R_a<80	54	6.200	72	69
	80< R_a<90	86	6.500	85	90
	R_a>90	96	6.500	97	65

În prezent se fabrică lămpi fluorescente având formă circulară, spiralată etc. pentru aplicaţii speciale.

Amorsarea şi funcţionarea tubului fluorescent sunt condiţionate de:

– preîncălzirea electrozilor, în vederea unei emisii termoelectronice;

– realizarea unei supratensiuni pentru amorsare;

– stabilizarea punctului de funcţionare pe caracteristica tensiune-curent a descărcării;

– limitarea curentului prin tub la valorile admise.

Aceste condiţii sunt asigurate prin folosirea starterului şi a balastului. Starterul cu descărcare (*Fig. 4.7*) este constituit dintr-un tub mic de sticlă *1*

[39] **Bianchi, C., ş.a.** *Sisteme de iluminat interior şi exterior*, Ed. Matrix Rom, Bucureşti, 2001.

conţinând neon sau argon, în care se află doi electrozi, dintre care unul este realizat din conductor de nichel *2*, iar celălalt este de fapt o lamelă bimetalică *3*. Tubul de sticlă se fixează într-o casetă din plastic *4*, pe a cărei placă de bază – realizată din textolit – se află bornele de contact *5*. În paralel pe aceste borne este conectat condensatorul *6*, care are rolul de a reduce perturbaţiile în transmisiile radio.

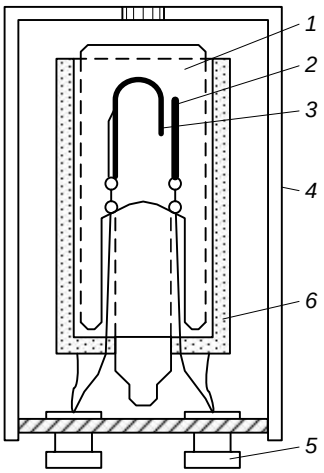


Fig. 4. 7 Starter cu licărire.

La conectarea lămpilor fluorescente – *Fig. 4.8 a), b), c)* – tensiunea de amorsare a starterului fiind inferioară tensiunii de aprindere a lămpii, are loc o descărcare luminiscentă care încălzeşte bimetalul *3*. Acesta se deformează şi atinge electrodul fix *2*. În acest moment, lampa este scurtcircuitată de către starter şi curentul ce se stabileşte prin circuitul care conţine bobina şi electrozii îi

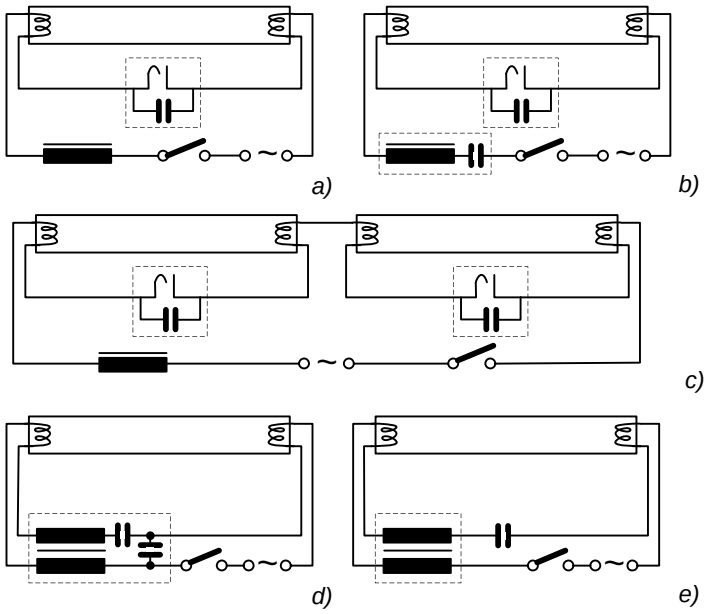


Fig. 4. 8 Scheme de conectare a lămpilor fluorescente la reţea: a) pentru o lampă LFA cu stater şi balast inductiv; b) pentru o lampă LFB cu starter şi balast capacitiv; c) pentru două lămpi LFA de 14 sau 20 W cu starter şi balast inductiv; d) pentru o lampă LFR 40 cu aprindere rapidă fără starter; e) pentru o lampă LFR 40 sau LFA 65 cu aprindere rapidă fără starter.

încălzeşte pe aceştia din urmă. După un timp, electrozii starterului se răcesc, întrerupând circuitul. Variaţia bruscă a curentului determină – prin intermediul balastului inductiv – o supratensiune, care – însumată cu tensiunea reţelei – determină amorsarea descărcării în interiorul tubului. După aprinderea tubului, tensiunea la bornele acestuia fiind mai mică decât tensiunea de amorsare a starterului, acesta din urmă nu va mai acţiona. În cazul în care descărcarea în interiorul tubului nu s-a amorsat, starterul acţionează din nou, fenomenele descrise mai sus repetându-se până la aprinderea lămpii.

Dacă U_{ft} este tensiunea la bornele tubului amorsat, U_{ams} este tensiunea de amorsare a starterului, U este tensiunea de alimentare şi U_{amt} este tensiunea de amorsare a tubului, se poate scrie relaţia $U_{ft} < U_{ams} < U < U_{amt}$.

Balastul are rolul de a stabiliza şi a limita curentul prin tubul fluorescent.

Aprinderea unei lămpi fluorescente poate avea loc şi fără starter, folosindu-se un circuit de rezonanţă la frecvenţa reţelei, care produce tensiunea necesară amorsării lămpii.

Lămpile fluorescente fabricate la noi în ţară sunt de două tipuri: cu amorsare cu starter, pentru funcţionarea în interior – *Fig. 4.8 a), b), c)* – unde temperatura nu coboară sub 5°C (simbol LFA) sau pentru temperaturi mai scăzute (LFB) şi cu amorsare fără starter, pentru iluminatul exterior – pentru temperaturi scăzute, până la –15°C (simbol LFR) – *Fig. 4.8 d), e.*

Fluxul luminos al tuburilor fluorescente alimentate în curent alternativ este variabil şi de 100 de ori pe secundă atinge o valoare apropiată de zero (efectul de pâlpâire amintit mai sus). Acest lucru dă naştere efectului stroboscopic, efect de modificare aparentă a mişcării reale a unui corp care este iluminat cu ajutorul unui tub fluorescent. Pentru reducerea acestui efect se utilizează mai multe metode:

– montarea tuburilor pe faze diferite ale reţelei trifazate;

– montarea în acelaşi corp de iluminat a două tuburi fluorescente legate în paralel, unul având balast inductiv, iar celălalt balast capacitiv, obţinându-se astfel un defazaj între fluxurile luminoase ale celor două tuburi şi totodată un factor de putere apropiate de unitate;

– montarea de lămpi cu incandescenţă, intercalate printre şirurile de lămpi fluorescente;

– alimentarea tuburilor cu tensiune de frecvenţă mărită (peste 300 Hz – *Fig. 4.9*).

Durata de viaţă a unei lămpi fluorescente este considerată până când fluxul luminos scade la 70-90% din valoarea iniţială – *Fig. 4.2*. Reducerea fluxului luminos se datorează luminoforului, care – datorită iradierii – devine mai puţin eficient, adică procentul de radiaţii din domeniul ultraviolet transformat în radiaţii luminoase este din ce în ce mai mic. La

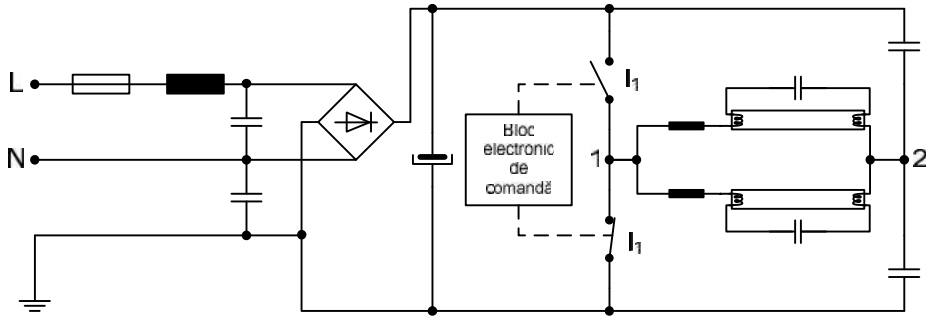


Fig. 4. 9 Schema de conectare a două lămpi fluorescente la reţea cu comandă electronică de înaltă frecvenţă.

procesul de îmbătrânire contribuie şi insuficienta preîncălzire a electrozilor în cazul conectărilor-deconectărilor repetate.

Sfârşitul perioadei de funcţionare a lămpii fluorescente este marcat de pornirea întârziată după conectarea la reţea şi de înnegrirea pereţilor tubului, datorită evaporării filamentului.

Datorită balastului inductiv factorul de putere al circuitului care conţine şi lampa fluorescentă este scăzut, necesitând o compensare locală, cu ajutorul unui condensator.

Lampa fluorescentă montată în corpul de iluminat, conţinând şi condensatorul de compensare asigură un factor de putere de 0,95, adică peste factorul de putere neutral, care în prezent este de 0,92.

4.3.3. Lămpi fluorescente compacte

Ca principiu de funcţionare lampa fluorescentă compactă este tot o lampă tubulară, faţă de care însă se deosebeşte prin existenţa unui tub de sticlă neliniar, de dimensiuni mult mai mici. Componentele electronice necesare punerii în funcţiune şi stabilizării punctului de funcţionare sunt montate în soclul lămpii.

După modul de conectare în circuitul electric, se deosebesc:

– lămpi fluorescente direct interschimbabile cu lămpile incandescente, având soclu de tip Edison;

– lămpi cu soclu de tip fişă (soclu cu 2-4 ace pentru contacte), pentru aparate de iluminat speciale.

După modul de amplasare a tubului, există:

– lămpi fluorescente compacte cu tubul la vedere – *Fig. 4.10 a)*;

– lămpi fluorescente compacte cu tubul protejat în globuri sau cilindri, din sticlă clară sau opalescentă – *Fig. 4.10 b).*

Timpul de funcţionare garantat de producători este de cca 8-16 mii h.

Consumul de energie electrică a lămpii compacte este de 4-5 ori mai

a) *b)*

Fig. 4. 10 Lămpi fluorescente compacte cu soclu Edison: a) cu tubul la vedere; b) cu tubul protejat, în glob de sticlă opalină[40].

mic decât a lămpii clasice cu incandescenţă care emite acelaşi flux luminos. În tabelul 4.6 sunt date câteva caracteristici luminotehnice ale LFC.

Luminanţa lămpilor fluorescente compacte este – ca şi a lămpilor fluorescente normale – de $(3\div10)\cdot10^3$ cd/m^2.

Faţă de lămpile cu incandescenţă, care se aprind în fracţiuni de secundă după conectare, lămpile fluorescente compacte se aprind în mai puţin de o secundă, dar necesită timp pentru a se încălzi la temperatura la care fluxul luminos emis este maxim. Aceste timp poate fi de valori insesizabile, până la cca 1 minut, sau chiar mai mult la temperaturi reduse. Lămpile fluorescente compacte cu amalgam de mercur necesită până la trei minute pentru a ajunge să emită fluxul luminos maxim.

Aceste ultime tipuri de lămpi fluorescente compacte nu sunt indicate a se folosi în combinaţie cu senzorii de mişcare, când succesiunea aprinderilor şi stingerilor le împiedică să ajungă la parametrii nominali, scurtându-le în acelaşi timp durata de viaţă[41].

Emisiile de radiaţii ultraviolete ale lămpilor fluorescente compacte pot cauza deteriorarea picturilor şi textilelor care au coloranţi sau pigmenţi sensibili la lumină. Culorile puternice tind să devină pale dacă sunt expuse la lumină ultravioletă. Radiaţiile ultraviolete pot de asemenea cauza

[40] www.wikipedia.org/wiki/Electric_lamp
[41] http://en.wikipedia.org/wiki/Compact_fluorescent_lamp

degradarea polimerilor, concomitent cu reducerea proprietăţilor mecanice şi îngălbenirea materialelor textile albe.

Cantitatea de radiaţii ultraviolete emise de aceste lămpi este prea mică pentru a determina apariţia cancerului de piele[42]. Reciclarea lămpilor fluorescente compacte trebuie făcută cu respectarea normelor de mediu ale statelor, având în vedere că pot fi periculoase.

Tabel 4.6

Putere [W]	Flux luminos [lm]	Eficacitate luminoasă [lm/W]	Tip soclu
5	250	50	cu ace
7	400	57	cu ace
9	600	67	cu ace
	350	39	Edison
10	600	60	cu ace
11	900	82	cu ace
	400	36	Edison
13	550	42	Edison
	900	69	cu ace
15	800	53	Edison
18	1.200	67	cu ace
	850	47	Edison
20	1.100	55	Edison
23	1.400	61	Edison
24	1.600	67	cu ace
25	1.500	60	Edison
26	1.800	69	cu ace
32	2.400	75	cu ace
40	3.500	87	cu ace
55	4.800	87	cu ace

4.3.4. Lămpi cu inducţie (LQ)

Transferul puterii la lămpile fluorescente fără electrozi şi la lămpile cu incandescenţă a fost propus de către Nikola Tesla într-un articol publicat în 1890 şi patentat, după dispute cu J.J. Thomson referitoare la întâietatea descoperirii.

În anii 1967-1968 John Anderson de la firma General Electric patentează lămpile fără electrozi, iar firma Philips introduce sistemul ei de iluminare prin inducţie (QL), operând la 2,65 MHz, în anul 1990 în Europa

[42] "Energy-Saving Lamps & Health". GreenFacts Website. http://copublications.greenfacts.org/en/energy-saving-lamps/index.htm. Retrieved 2009-06-10.

şi în 1992 în SUA. În 1992 şi alte firme anunţă disponibilitatea sistemelor de iluminat cu inducţie: Matsushita Electric Co, Intersource Technologies (un sistem denumit E-lamp – operând la 13,6 MHz, disponibil pe piaţa SUA din 1993). Până în anul 2005 s-au fabricat foarte puţine lămpi de acest tip, din cauza costurilor mari.

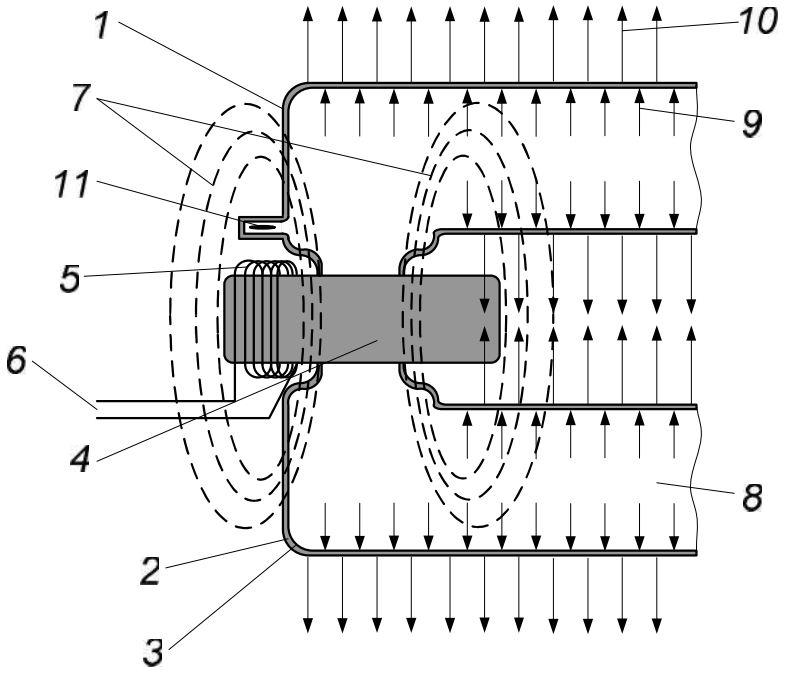


Fig. 4. 11 Lampă cu inducţie cu inductor extern: 1 – tub din sticlă; 2 – strat transparent de siliciu; 3 – strat luminofor; 4 – miez de ferită; 5 – bobină inductoare; 6 –conexiuni către balast; 7 – linii ale câmpului magnetic; 8 – gaz inert şi atomi excitaţi de mercur; 9 – radiaţii ultraviolete; 10 – radiaţii luminoase; 11 – pastilă de amalgam de mercur.

Lămpile clasice incandescente sau fluorescente au nevoie de conexiuni electrice pentru ca puterea electrică să fie transferată din exteriorul lămpii către interiorul acesteia. Aceste conexiuni sunt de cele mai multe ori cauzele deteriorării lămpilor. Lămpile cu inducţie, numite şi lămpi fără electrozi, permit transferul puterii electrice necesare pentru a genera lumină, din exteriorul spre interiorul lămpii, prin intermediul câmpului electromagnetic. Eliminarea electrozilor de conectare în circuitul electric aduce avantajele următoare:

– creşterea duratei de viaţă a lămpilor;

– posibilitatea folosirii substanţelor generatoare de înaltă eficienţă, care, în cazul lămpilor normale, ar reacţiona cu metalul electrozilor;

– posibilitatea realizării unor lămpi de dimensiuni mult reduse, fără scurtarea duratei de viaţă a acestora.

Lampa cu inducţie este de fapt tot o lampă fluorescentă, care funcţionează pe principiul descărcării în vapori de mercur la joasă presiune. Ionizarea care se stabileşte prin gaz nu este produsă de o diferenţă de potenţial aplicată la capetele tubului (ca în cazul lămpilor fluorescente), ci este generată de un câmp electromagnetic de înaltă frecvenţă în interiorul balonului din sticlă, prin inducţie.

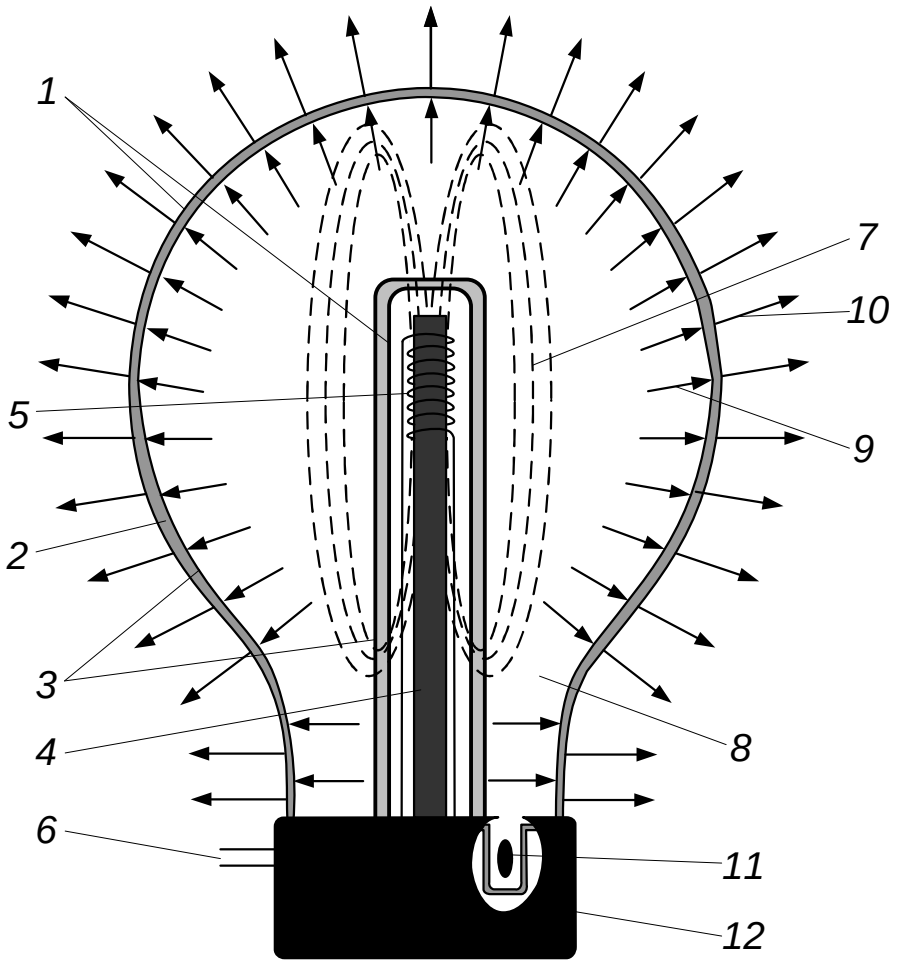


Fig. 4. 12 Lampă cu inducţie cu inductor intern: 1 – tub din sticlă; 2 – strat transparent de siliciu; 3 – strat luminofor; 4 – miez de ferită; 5 – bobină inductoare; 6 –conexiuni către balast; 7 – linii ale câmpului magnetic; 8 – gaz inert şi atomi excitaţi de mercur; 9 – radiaţii ultraviolete; 10 – radiaţii luminoase; 11 – pastilă de amalgam de mercur; 12 – bază disipativă de căldură.

În funcţie de modul de amplasare a bobinei care produce câmpul electromagnetic inductor de înaltă frecvenţă există:

- lămpi cu inducţie cu câmp inductor extern (*Fig. 4.11* şi *Fig. 4.15*);
- lămpi cu inducţie cu câmp inductor intern (*Fig. 4.12* şi *Fig. 4.13*).

În cazul lămpilor cu câmp inductor extern energia de înaltă frecvenţă de la un balast electronic este transmisă prin conductoare coaxiale unei bobine inductoare, plasată pe un miez de ferită aflat în jurul unei părţi a lămpii, bobină care creează un câmp magnetic foarte puternic. Câmpul magnetic pătrunde în interiorul balonului de sticlă şi excită atomii de mercur furnizaţi de o pastilă de amalgam (o formă solidă de mercur). Atomii de mercur emit radiaţii în domeniul ultraviolet, care sunt convertite de către luminoforul depus pe interiorul sticlei în radiaţii luminoase. Sistemul poate fi considerat ca un transformator la care inductorul este bobina primară, iar

Fig. 4. 13 Lampa cu inducţie de 100 W produsă de firma Osram Sylvania Inc.

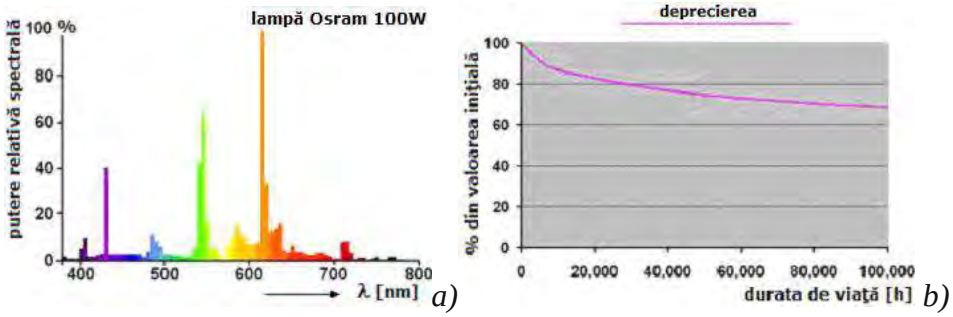


Fig. 4. 14: a) Spectrul de emisie; b) deprecierea pentru lampa Osram de 100 W.

secundarul – având o singură spiră în scurtcircuit – este format din atomii de mercur. Lămpile cu inductor extern au avantajul că energia disipată sub formă de căldură poate fi uşor degajată prin convecţie în aer, sau prin conducţie către elementele de fixare ale lămpii. Lămpile cu inductor extern permit obţinerea unei puteri mai mari. Ele pot fi de formă dreptunghiulară sau toroidală.

În cazul lămpilor cu câmp inductor intern energia de înaltă frecvenţă de la un balast electronic, montat în soclu, este transmisă unei bobine inductoare plastă pe un miez de ferită, aflat în interiorul balonului de sticlă.

Lămpile cu inductor intern funcţionează ca şi lămpile cu inductor extern, principiul de bază fiind acelaşi. La aceste lămpi căldura dezvoltată în inductor este mai greu de evacuat, motiv pentru care durata de viaţă a acestora este mai redusă. Lămpile cu inductor intern se aseamănă cu lămpile obişnuite, cu incandescenţă, motiv pentru sunt mai atractive.

Balastul lămpii cu inducţie, indiferent de tipul constructiv al acesteia,

Fig. 4. 15 Lampa cu inducţie de 85 W produsă de firma Philips.

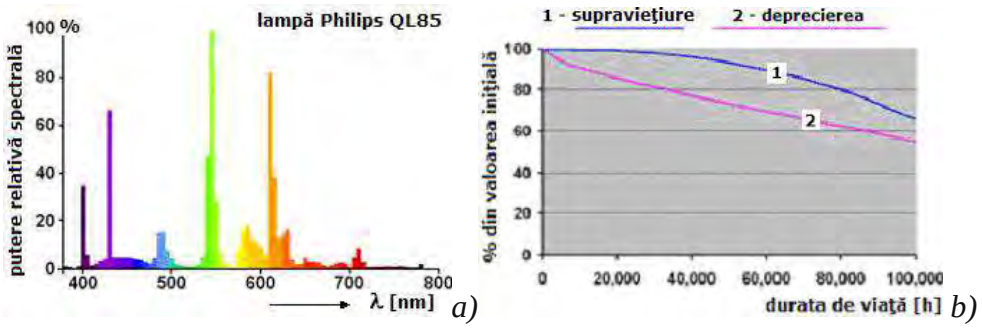


Fig. 4. 16: a) Spectrul de emisie; b) 1 – supravieţuirea şi 2 – deprecierea, pentru lampa Philips QL85.

alimentat în curent alternativ sau continuu, generează oscilaţii de înaltă frecvenţă (2,65 MHz sau 13,6 MHz) pentru alimentarea inductorului, asigură un impuls pentru ionizarea iniţială a atomilor de mercur şi controlează funcţionare stabilă a lămpii.

La aprindere lămpile cu inducţie emit cca 75-80% din puterea nominală şi abia după 60-120 secunde emit întreaga putere. Prin utilizarea microprocesoarelor care controlează circuitele electronice ale balasturilor eficienţa lor ajunge la cca 98%. Deci pierderile de energie în balasturile lămpilor cu inducţie sunt de cca 2%, faţă de 10-15% în balasturile tradiţionale ale lămpilor fluorescente.

Temperaturile de culoare cele mai frecvente sunt: 3.500 K, 4.100 K, 5.000 K, 6.500 K. Indicele de redare a culorilor R_a este mai mare de 80.

În tabelele 4.7 şi 4.8 sunt prezentate câteva caracteristici ale lămpilor cu inducţie fabricate de firmele Philips, respectiv Osram Sylvania Inc[43].

Tabel 4.7

Producător	Philips Lighting
Puterea lămpii	85 W
Curentul absorbit	0,345 A
Tensiunea de alimentare	180-265 V
Frecvenţa de lucru	2,65 MHz
Conţinutul balonului de sticlă	Ar-Kr-Ne/amalgam Hg
Fluxul luminos	6.000 lm la 100 h, 4.200 lm la 60.000 h
Eficacitate luminoasă	71 lm/W la 100 h 49 lm/W la 12.000 h
Temperatura de culoare	4.000 K
Indicele de redare a culorilor	R_a>80
Poziţia de lucru	oricare
Durata de viaţă	100.000 h (reducerea fluxului luminos cu 50%)
Timp de aprindere/ reaprindere	30 s/instantaneu
Lungimea totală	180,5 mm
Fabrica	Turnhout, Belgia
Masa	200 g
Anul fabricaţiei	1992

Tabel 4.8

Producător	Osram Sylvania Inc.
Puterea lămpii	100 W
Curentul absorbit	0,48 A
Tensiunea de alimentare	180-264 V

[43] http://www.lamptech.co.uk/Electrodeless.htm

Frecvenţa de lucru	250 kHz
Conţinutul balonului de sticlă	Ar-Ne-Kr 85/amalgam Hg
Fluxul luminos	8.000 lm la 100 h, 5.600 lm la 60.000 h
Eficacitate luminoasă	80 lm/W la 100 h 56 lm/W la 60.000 h
Temperatura de culoare	3.000 K
Indicele de redare a culorilor	R_a>80
Poziţia de lucru	oricare, exceptând poziţia în care pastila de amalgam se află în punctul cel mai înalt
Durata de viaţă	60.000 h (reducerea fluxului luminos la 70%), limitată de durată de viaţă a balastului
Timp de aprindere/ reaprindere	30 s la 90% din fluxul luminos/instantaneu
Dimensiuni	313 mm×139 mm×72 mm
Fabrica	Drummondville, Canada
Mod de conectare	soclu cu 3 ace
Anul fabricaţiei	mai 2002

4.3.5. Lămpi cu descărcări în vapori de mercur

Lămpile cu descărcări în vapori de mercur au punctul de funcţionare în zona DE (*Fig. 4.4*), zonă care corespunde unei rezistenţe negative a descărcării în arc. Din cauza rezistenţei negative, pentru amorsarea şi funcţionarea acestor lămpi sunt necesare elemente auxiliare (balasturi), care să limiteze curentul prin lampă şi să stabilizeze punctul de funcţionare.

Pentru amorsarea descărcării în arc, lămpile cu vapori de mercur au nevoie de un igniter (echivalent cu starterul lămpilor fluorescente), de cele mai multe ori inclus în corpul lămpii.

Construcţia lămpilor cu vapori de mercur la diferite presiuni este în principiu aceeaşi pentru orice presiune, existând diferenţe ce rezultă ca urmare a eforturilor mecanice diferite la care supuse elementele lămpilor.

La lămpile fluorescente cu descărcări în vapori de mercur la joasă presiune (0,8 Pa [1 Pa=10^{-5} bar]) eficacitatea luminoasă nu este foarte eficientă. S-a constatat că odată cu creşterea presiunii din tub creşte şi eficacitatea luminoasă, prin creşterea emisiei radiaţiei în domeniul vizibil şi reducerea emisiei radiaţiei în domeniul ultraviolet (*Fig. 4.17*).

Descărcarea în gaze are loc într-un tub de cuarţ, care pentru lămpile de joasă presiune trebuie prevăzut cu un strat fluorescent, pentru a converti radiaţiile ultraviolete în radiaţii vizibile. Stratul fluorescent poate fi prezent şi la lămpile cu înaltă presiune, caz în care eficacitatea luminoasă creşte.

Descărcarea principală are loc în atmosfera dintr-un tub de sticlă *4* (*Fig. 4.18*), amplasat în interiorul balonului *6*. Acest tub – în afară de rezistenţa mecanică şi etanşeitate – trebuie să asigure şi absorbţia radiaţiilor ultraviolete, care ar putea periclita sănătatea oamenilor. Dimensiunile

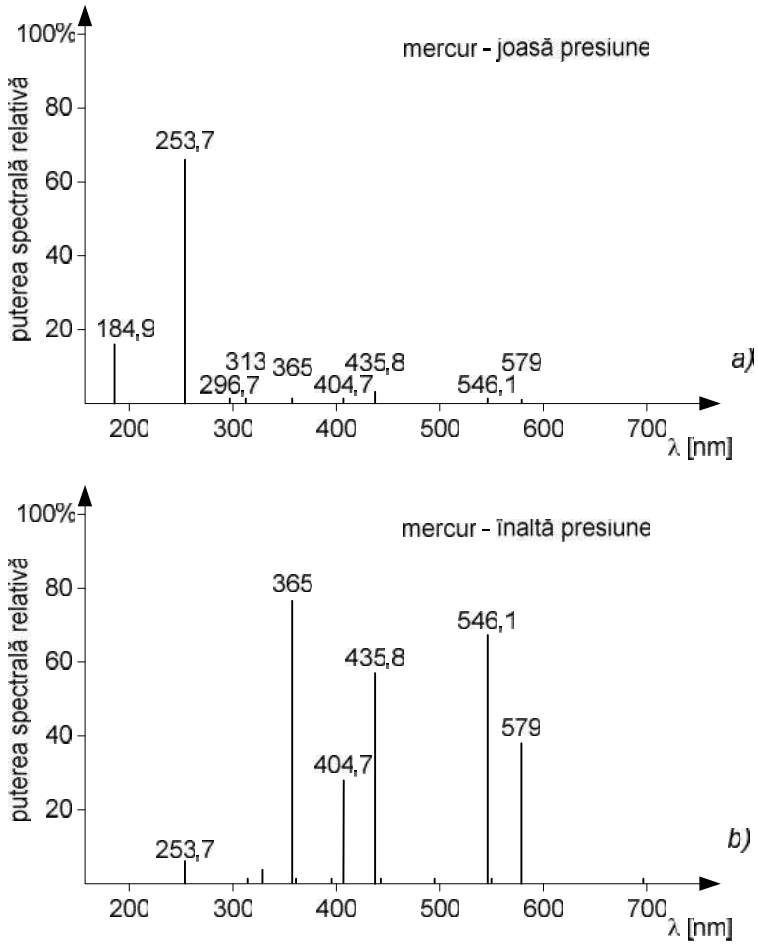


Fig. 4. 17 Influenţa presiunii asupra emisiei de radiaţii la lămpile cu descărcări în vapori de mercur: a) de joasă presiune; b) de înaltă presiune.

acestuia sunt din ce în ce mai mici şi pereţi din ce în ce mai groşi, cu cât presiunea internă este mai mare. Uneori acest tub se execută din cuarţ – când presiunea interioară este foarte mare.

Electrozii lămpii – principali *1* (E_1 şi E_2) – şi secundar (E_3) sunt executaţi din wolfram spiralat, acoperit cu oxizi de metale alcalino-pământoase. Uneori atmosfera din tub conţine şi o anumită cantitate de gaz nobil (argon, neon) care uşurează amorsarea descărcării.

Amorsarea tubului se realizează cu ajutorul electrodului secundar E_3, care – fiind foarte aproape de electrodul E_2 – creează împreună cu acesta din urmă un câmp electric foarte intens, determinând un proces de ionizare prin şoc[44].

[44] **Centea, O., Bianchi, C.** *Instalaţii electrice*, Ed. Didactică şi Pedagogică, 1973.

Pe măsură ce ionii difuzează în tub descărcarea se mută între electrozii principali, deoarece curentul prin tub corespunzător electrodului secundar este limitat de rezistenţa R la o valoare mult inferioară curentului corespunzător electrozilor principali.

Balonul exterior poate fi executat din sticlă mată, ceea ce determină reducerea efectului de orbire, dar şi reducerea eficacităţii luminoase a lămpii.

În figura 4.18 s-au mai notat: *3* – inel de susţinere, *2* – element de susţinere, *5* – discul (sau lopăţica), care este sudat de balonul din sticlă *6*.

Evacuarea aerului şi umplerea cu gaz inert a balonului se face prin tubul *7*, care este apoi închis. Electrozii *8* din interiorul lămpii sunt confecţionaţi din cupru (la lămpile cu vid) sau din nichel (la lămpile cu gaz inert).

Porţiunea din electrozi *9* care se află în discul de sticlă trebuie să asigure etanşeitatea lămpii în condiţii normale de funcţionare, dar şi în condiţii de nefuncţionare. Din acest motiv, acea porţiune este confecţionată dintr-un aliaj cu acelaşi coeficient de dilatare ca şi sticla.

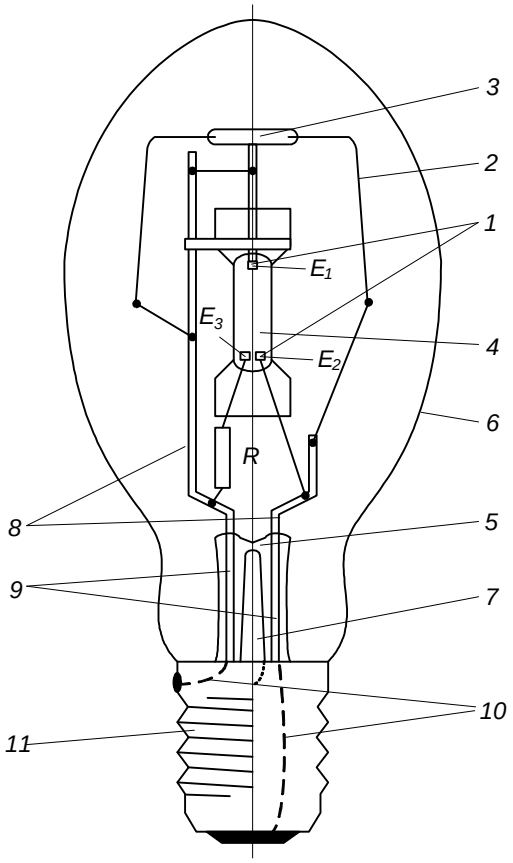


Fig. 4. 18 Lampă cu vapori de mercur de înaltă presiune.

Acest aliaj este de regulă realizat din cupru, fier şi nichel[45]. Porţiunea din exterior a electrozilor *10* se realizează din cupru şi se sudează la contactele exterioare ale soclului. Balonul de sticlă se fixează cu chit special pe soclul de tip Edison (*11*).

Pentru stabilizarea descărcării în serie cu lămpile cu vapori de mercur se conectează o inductivitate sau rezistenţă de balast, ceea ce conduce la scăderea factorului de putere. Factorul de putere se compensează cu ajutorul unui condensator.

[45] **Centea, O., Bianchi, C.** *Instalaţii electrice*, Ed. Didactică şi Pedagogică, 1973.

Durata de funcţionare a acestor lămpi este cuprinsă între 6.000 şi 8.000 de ore, depinzând de tipul lămpii.

Luminanţa acestor lămpi este cu atât mai mare cu cât presiunea din interiorul tubului este mai mare. Ea variază între $(2\div10)\cdot10^6$ nt, la presiuni de 1÷10 bari şi $(100\div1.000)\cdot10^6$ nt la presiuni cuprinse între 100 şi 200 bari.

Eficacitatea luminoasă a lămpilor cu vapori de mercur de înaltă presiune este cuprinsă între 35 şi 50 lm/W. Aprinderea lămpilor cu vapori de mercur durează între 5 şi 10 minute, interval în care mercurul se ionizează în totalitate, atingându-se astfel parametrii nominali ai lămpii. În cazul stingerii lămpii pentru reaprinderea ei sunt necesare suplimentar 3-4 minute – pentru răcirea acesteia.

Aceste lămpi se pretează la reducerea fluxului luminos (până la maximum 50%) cu uşoare schimbări de spectru atunci când se doreşte reducerea nivelului de iluminare („dimming") pentru acea parte a nopţii când circulaţia auto şi pietonală sunt reduse.

4.3.6. Lămpi cu descărcări în vapori de mercur de înaltă presiune, cu adausuri de halogenuri metalice (metal-halide)

Lămpile cu halogenuri metalice au apărut pe piaţă în anul 1964, reprezentând o îmbunătăţire considerabilă a lămpilor tradiţionale cu vapori de mercur de înaltă presiune în ceea ce priveşte eficacitatea luminoasă şi redarea culorilor.

Dacă în atmosfera interioară a tubului *4* pe lângă vaporii de mercur sunt şi ioduri ale unor metale ca thaliu, sodiu, indiu sau scandiu, compoziţia spectrală a luminii se îmbunătăţeşte, iar eficacitatea luminoasă creşte, având valori între 68 şi 95 lm/W.

Halogenura metalică se descompune în ioni metalici şi halogen în apropierea axului zonei de descărcare, unde temperatura este foarte ridicată (cca 3.000 K), conform formulei

$$\text{halogenură metalică} \leftrightarrow \text{metal}^+ + \text{halogen}^-.$$

Ionii metalici şi de halogen din zona centrală sunt cei care emit radiaţii; aceştia sunt agresivi, dar nu pot atinge peretele, deoarece acesta are o temperatură mai scăzută decât centrul tubului, ceea ce determină recombinarea ionilor (la cca 900 K) şi reformarea halogenurii metalice, după formula inversă

$$\text{metal}^+ + \text{halogen}^- \leftrightarrow \text{halogenură metalică}.$$

Lămpile cu halogenuri metalice emit lumină de calitate, nefiind necesară prezenţa luminoforului. Pentru a evita scurtcircuitarea lămpii după aprinderea ei prin intermediul electrozilor E_2 şi E_3, aceasta este prevăzută cu un comutator termic care elimină orice potenţial electric între aceşti electrozi.

Se cunosc trei grupe de lămpi cu halogenuri metalice:

- LMH cu spectru trei benzi, care conţin ioduri de sodiu, thaliu şi indiu (sau galiu). Sodiul emite radiaţii în banda galbenă, thaliul în banda verde, iar indiul în banda albastru. Aceste lămpi au eficacitatea luminoasă între 65 şi 90 lm/W, durata de viaţă este 12.000 de ore, temperatura de culoare de 4.300 K şi indicele de redare a culorilor R_a de 65-68. Se produc pentru puteri nominale de 250, 400, 1.000 şi 2.000 W.
- LMH cu spectru multi-linii, care conţin în principal pământuri rare şi metale asociate, cum ar fi:
  - scandiu asociat cu sodiu,
  - halogenură de dyprosiu,
  - halogenură de thulium asociată cu taliu sau/şi sodiu,
  - amestecuri de halogenuri de dyprosiu, holmiu sau thulium, asociate cu taliu, sodiu sau cesiu.

  Aceste lămpi au eficacitatea luminoasă între 70 şi 80 lm/W, durata de viaţă este între 4.000 şi 10.000 de ore, temperatura de culoare de 4.000 şi 5.600 K şi indicele de redare a culorilor R_a de 80-92. Se produc pentru puteri nominale de 70, 150, 250 şi 1.800 W.
- LMH cu spectru cvasi-continuu (cu radiaţie moleculară), care conţin iodură de staniu sau un amestec de iodură cu clorură sau bromură de staniu asociate cu sodiu. Aceste lămpi au eficacitatea luminoasă între 58 şi 61 lm/W, durata de viaţă este între 750 şi 1.500 de ore, temperatura de culoare de 3.000 şi 5.500 K şi indicele de redare a culorilor R_a de 74-85. Se produc pentru puteri nominale de 70, 150 şi 500 W.

Reaprinderea acestor lămpi este posibilă după o răcire de 10-20 minute. Reglajul fluxului luminos nu este recomandată. Lampa este sensibilă la variaţii ale tensiunii de alimentare, care conduc la modificarea culorii luminii emise şi afectează durata de viaţă. Poziţia de funcţionare este impusă de fabricant.

Pentru stabilizarea funcţionării lămpii este necesar un balast inductiv conectat în serie. Amorsarea descărcării se face cu un igniter care este de fapt un starter electronic ce furnizează un impuls de tensiune de 0,5-5 kV.

Pentru îmbunătăţirea factorului de putere se montează în paralel un condensator adecvat.

Unele modele noi de lămpi cu halogenuri nu mai sunt prevăzute cu electrodul secundar E_3, ci folosesc impulsuri de înaltă tensiune pentru iniţierea descărcării între electrozii principali E_1 şi E_2.

Pe lângă utilizarea tradiţională a acestor lămpi în iluminatul exterior, în ultima vreme sunt utilizate în multe dintre video-proiectoarele ataşate calculatoarelor.

Lămpile cu halogenuri metalice se folosesc pentru iluminarea halelor

industriale înalte, a spaţiilor comerciale, a sălilor de sport, a complexelor expoziţionale.

Lămpile cu halogenuri metalice cu spectru cvasi-continuu se utilizează pentru iluminat în studiourile de televiziune precum şi pentru iluminatul decorativ.

4.3.7. Lămpi cu descărcări în vapori de mercur de înaltă presiune, cu balast încorporat (sau cu lumină mixtă)

Pentru îmbunătăţirea compoziţiei spectrale a radiaţiilor luminoase unele lămpi conţin şi un filament spiralat *1* din wolfram, constituind astfel o lampă cu lumină mixtă. Semnificaţia elementelor din figura 4.19 este aceeaşi ca şi în figura 4.18. Balonul acestor lămpi se execută din sticlă opalină.

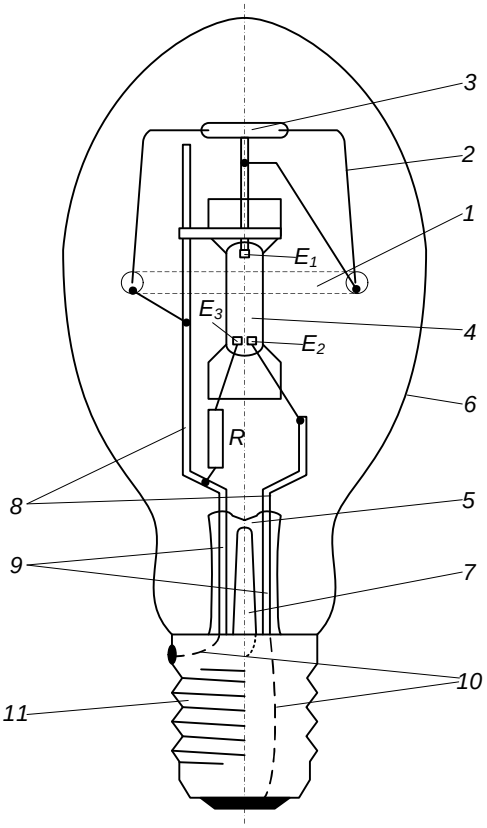


Fig. 4. 19 Lampă cu vapori de mercur şi filament.

Rezistenţa filamentului de wolfram este înseriată cu tubul de descărcare având electrozii E_1 şi E_2. Emisia de radiaţii luminoase rezultă astfel din descărcarea în vapori de mercur de înaltă presiune şi datorită încălzirii filamentului. Acesta lucrează şi ca balast, fiind de fapt o impedanţă în serie pentru limitarea curentului de descărcare.

Având în vedere compoziţia spectrală a radiaţiei lămpii cu incandescenţă, rezultă că spectrul emis de această lampă este mai bogat, conţinând şi radiaţii corespunzătoare culorilor calde.

Această lampă mai are avantajul că poate fi folosită prin conectare directă, în locul lămpilor cu incandescenţă.

Gama de puteri pentru care se fabrică este de 100 W, 160 W, 250 W,

500 W. Eficacitatea luminoasă este mai redusă decât a lămpilor cu descărcări în vapori de mercur de înaltă presiune datorită prezenţei filamentului, variind între 20 şi 30 lm/W. Datorită eficacităţii luminoase reduse utilizarea acestor lămpi este limitată în ultimul timp. Temperatura de culoare este mai mare decât la lămpile cu incandescenţă.

4.3.8. Lămpi cu descărcări în vapori de sodiu

Lămpile cu vapori de sodiu sunt construite atât la joasă presiune cât şi la înaltă presiune.

Lămpile cu descărcări în vapori de sodiu de joasă presiune (0,7 Pa) emit o lumină galbenă practic monocromatică (0,5890 şi 0,5896 μm), care asigură vizibilitatea pe timp ceţos. Structura acestor lămpi este asemănătoare cu cea a lămpilor cu vapori de mercur, diferenţa fiind dată de tubul interior al lămpii. Amorsarea acestor lămpi are loc ca şi în cazul celor cu vapori de mercur, utilizându-se un electrod auxiliar.

Descărcarea în arc la lămpile cu vapori de sodiu la joasă presiune are

Fig. 4. 20 Lampă cu descărcări în vapori de sodiu de joasă presiune.

loc într-un tub de sticlă borosilicată, care conţine sodiu solid şi un amestec de două gaze (neon 99% şi argon 1%), având rolul de a iniţia amorsarea (neonul) şi de a o întreţine (amestecul). Tubul de descărcare poate fi liniar (lămpi SLI) sau în formă de U (*Fig. 4.20*).

După conectare lampa emite o lumină roşu-oranj, datorită neonului, care după câteva minute se transformă în galben strălucitor, ca urmare a vaporizării întregii cantităţi de sodiu. Tubul de descărcare este introdus într-un alt tub de sticlă, vidat, care asigură izolarea termică necesară pentru a se obţine o bună eficacitate luminoasă. Astfel, se menţine o temperatură de 260ºC, necesară vaporizării optime a sodiului.

Tubul de sticlă vidat se acoperă pe partea interioară cu un strat de iodură de indiu sau staniu, cu rolul de a reflecta radiaţiile infraroşii către tubul de descărcare (SOX).

Pentru lungimea de undă a radiaţiilor emise (*Fig. 4.21*) vizibilitatea relativă a ochiului omenesc este mare (0,757), ceea ce explică eficacitatea luminoasă mare a acestor lămpi. Eficacitatea lor luminoasă este cuprinsă

între 150 şi 200 lm/W. Se utilizează pentru iluminatul public, iluminatul şoselelor şi în general acolo unde nu deranjează **deformarea culorilor**.

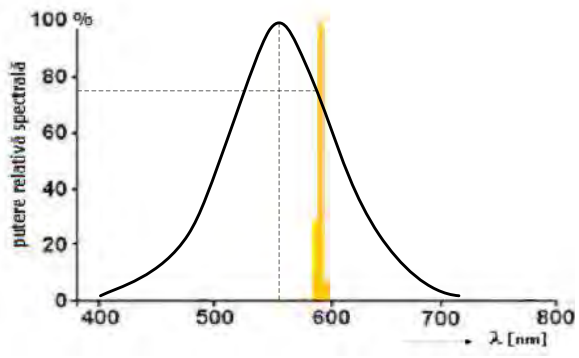


Fig. 4. 21 Radiaţia monocromatică şi curba vizibilităţii spectrale relative a ochiului omenesc.

Conectarea lămpilor cu vapori de sodiu la reţeaua de alimentare se face de asemenea prin intermediul unei bobine de balast şi a unui condensator pentru compensarea factorului de putere. Lămpile cu vapori de sodiu de joasă presiune se realizează pentru puteri cuprinse intre 10 W şi 180 W. Cu cât puterea lămpii creşte şi lungimea tubului de descărcare creşte, şi în consecinţă lampa are dimensiuni mai mari. Lampa cu vapori de sodiu de joasă presiune are o temperatură de culoare de 1.700 K, iar indicele de redare a culorilor R_a este nul.

La acest tip de lampă nu se poate face un reglaj al fluxului luminos. O caracteristică unică a acestor lămpi este aceea că fluxul luminos variază foarte puţin în timpul vieţii lor.

Spre sfârşitul perioadei de funcţionare, care este de 18.000 ore, consumul de energie creşte cu cca 10%.

Lămpile cu descărcări în vapori de sodiu de înaltă presiune au apărut pe piaţă în anul 1966. Ele sunt total diferite de cele de joasă presiune, datorită presiunii mult mai mari la care se vaporizează sodiu, ceea ce determină o reducere a fluxului luminos.

Spectrul de frecvenţe conţine şi alte benzi, ceea ce face ca indicele de redare a culorilor să fie mai mare (R_a=23 pentru SON cu p=10 kPa, şi R_a=80 pentru SON-White cu p=95 kPa). Aceste lămpi au dimensiuni considerabil mai reduse faţă de cele cu joasă presiune, având şi adaosuri de elemente cum ar fi mercurul (lumină roz-închis la pornire şi roz-portocaliu după încălzire).

Eficacitatea luminoasă a lămpii cu vapori de sodiu la înaltă presiune este în jurul a 100 lm/W (66-150 lm/W). Se fabrică pentru puteri nominale între 50 şi 1.000 W. Luminanţa este de $(4\text{-}30)\cdot 10^4$ cd/m^2 pentru lampa cu balon fluorescent, respectiv $(300\text{-}550)\cdot 10^4$ cd/m^2 pentru lampa cu balon clar.

Reducerea fluxului luminos este posibilă până la 10% din fluxul luminos nominal, dar uzual nu se reduce mai jos de 50% din fluxul nominal. La un flux de 50% din cel nominal puterea absorbită scade la 65% din puterea nominală.

Datorită agresivităţii chimice mare a arcului electric de înaltă presiune, tubul de descărcare este executat din oxid de aluminiu translucid, care rezistă la o temperatură de 1.500 K, cât au vaporii de sodiu.

Fig. 4. 22 Lampă cu descărcări în vapori de sodiu de înaltă presiune.

Acesta este introdus intr-un balon de protecţie vidat de formă tubulară (clar) (*Fig. 4.22*) sau elipsoidală (clar sau cu depunere de substanţă fluorescentă pe peretele interior).

Pentru amorsarea descărcării este necesar un impuls de tensiune de 1,5-4 kV, cu ajutorul căruia se amorsează o descărcare luminiscentă în atmosfera auxiliară de xenon, urmată de vaporizarea sodiului. Lampa intră în regimul normal de funcţionare după 5-7 minute de la conectare.

În prezent se produc patru tipuri de lămpi cu caracteristici colorimetrice distincte:

– SON-Standard, având temperatura de culoare de 1.950 K şi indicele de redare a culorilor R_a=23;

– SON pentru înlocuirea lămpilor cu mercur de înaltă presiune cu balon fluorescent (LMF); acestea au puteri de 220 W şi 350 W şi înlocuiesc LMF de 250 W, respectiv 400 W, astfel puterea electrică absorbită din reţea este redusă cu 15%, în timp ce fluxul luminos este mărit cu 25%;

– SON-Confort, având temperatura de culoare de 2.200 K şi indicele de redare a culorilor R_a=60; acestea se utilizează în spaţii industriale;

– SON-White (cu lumină albă), având temperatura de culoare de 2.500 K şi indicele de redare a culorilor R_a=85; acestea se fabrică pentru puteri de 35, 50 şi 100 W, utilizându-se în iluminatul decorativ sau de tip spot.

Lămpile cu vapori de sodiu se folosesc preponderent în iluminatul exterior rutier, dar şi hale industriale înalte, unde nu sunt cerinţe de redare a culorilor.

4.3.9. Lămpi cu sulf cu microunde (LS)

După nereuşita comercială a unei lămpi cu sulf cu microunde din 1990, Departamentul Energiei din SUA şi firma Fusion Lighting au reluat

cercetările şi au prezentat în anul 1994 o astfel de lampă, care ulterior şi-a găsit şi utilizări. Lampa are un principiu de funcţionare total diferit faţă de cele cunoscute până atunci.

O mică sferă din sticlă de cuarţ (cu diametrul de cca 30 mm) conţine câteva miligrame de sulf praf şi argon. Aceste substanţe sunt ionizate prin intermediul energiei microundelor la o frecvenţă de 2,45 GHz, microunde furnizate de un magnetron asemănător cu cel din cuptoarele cu microunde[46]. Pentru ionizare, sfera este plasată într-o cavitate rezonantă pe frecvenţa furnizată de sursa de microunde.

Argonul încălzeşte sulful, provocând vaporizarea acestuia, când se formează molecule diatomice de sulf, care emit radiaţii luminoase în momentul în care revin la stări energetice inferioare, proces numit **emisie moleculară.** Spectrul de emisie este continuu pe aproape tot spectrul vizibil, producând o lumină asemănătoare celei solare. Această emisie este diferită de cea rezultată în lămpile clasice cu descărcări, care au la bază **emisia atomică.** Consecinţa emisiei atomice este aceea că se obţine o lumină cu aspect artificial, din cauza absenţei multor linii spectrale. Stabilitatea plasmei este asigurată prin răcirea forţată a lămpii şi rotirea sferei de descărcare.

Acest tip de lămpi şi-au găsit unele utilizări: în SUA – la Muzeul Aerului şi Spaţiului Smithsonian (Washington), în Sacramento (California) – unde s-a utilizat lampa Solar 1000 de 1.425 W, cu un flux luminos de 135.000 lm şi R_a=79, în Lund (Suedia) – la Spitalul Universitar.

4.3.10. Lămpi cu xenon

Lămpile cu xenon sunt surse de lumină artificială care produc o lumină albă, apropiată de lumina naturală diurnă.

Aceste lămpi se fabrică în variantele:

– cu arc scurt,

– cu arc lung,

– de tip blitz.

Ele sunt caracterizate printr-o compoziţie spectrală a luminii emise foarte apropiată de cea a luminii diurne, temperatura de culoare fiind de peste 6.000 K. Eficacitatea lor luminoasă este de 35÷120 lm/W.

Lămpile cu xenon cu arc scurt au fost inventate încă din 1940 în Germania şi au fost introduse pe piaţă în 1951 de către firma Osram. Prima variantă – având o putere de 2 kW – a fost utilizată în proiectarea de filme, unde a înlocuită lampa cu arc cu grafit. Această lampă a avut o eficacitate luminoasă redusă, dar în zilele noastre se folosesc în cinematografe lămpi de

[46] **Piroi, I.** *Utilizarea energiei electrice*, Ed. Eftimie Murgu, Reşiţa, 2009.

la 900 W până la 12 kW, ajungându-se şi la sisteme de proiecţie cu o putere de 15 kW pe o singură lampă.

Descărcarea în arc are loc într-un glob de sticlă de cuarţ, între electrozi de tungsten dopaţi cu molibden (pentru îmbunătăţirea emisiei electronice). În interiorul tubului presiunea este cuprinsă între 25 şi 300 atm., iar temperatura este atât de mare încât e necesară răcirea cu apă a lămpii.

Lămpile cu xenon cu arc scurt pot fi de două tipuri: cu xenon pur (conţin numai gaz de xenon) şi cu xenon-mercur (conţin gaz xenon şi o mică cantitate de mercur sub formă metalică). În lămpile cu xenon pur lumina este generată de către plasma care ia naştere la vârful catodului, unde norul electronic şi ionic are cea mai mare densitate. Zona emisivă a fluxului luminos descreşte de la catod către anod. Fluxul de electroni cade pe anod, cauzând încălzirea acestuia, motiv pentru care fie se realizează de mari dimensiuni, fie se răceşte cu apă. Lumina emisă de aceste lămpi este foarte apropiată de lumina zilei, conţinând toate culorile spectrului luminos.

Lămpile cu xenon cu arc lung au o structură similară cu acelor cu arc scurt, exceptând faptul că porţiunea tubului de sticlă în care are loc descărcarea este mult alungită. Dacă lampa este dotată cu un reflector eliptic, se foloseşte pentru a simula lumina Soarelui la testarea celulelor solare, referitor la durabilitatea lor.

Începând cu anul 1991, lămpile cu xenon au fost introduse în fabricaţia autovehiculelor, echipând farurile acestora. Capsula de sticlă este în acest caz de dimensiuni reduse, şi în consecinţă arcul are doar câţiva milimetri. La aceste lămpi se pot adăuga mercur, sare de sodiu, sare de scandiu, astfel încât eficacitatea luminoasă să fie cât mai ridicată. La lămpile cu xenon folosite în domeniul auto cu adausurile menţionate, xenonul realizează doar amorsarea descărcării.

Lămpile cu xenon de tip blitz au un tub de sticlă etanş, conţinând un gaz nobil (de obicei xenon) şi electrozii prin care se descarcă energia electrică înmagazinată într-un condensator. Adiţional, o sursă de înaltă tensiune este utilizată pentru a iniţia descărcarea electrică.

Pentru amorsarea lămpilor cu xenon utilizate la iluminarea spaţiilor mari sunt necesare tensiuni înalte (50÷70 kV), motiv pentru care se foloseşte un starter special. Se fabrică pentru puteri de până la 300 kW şi se folosesc la iluminatul exterior (stadioane, aeroporturi, triaje, pieţe).

4.4. Lămpi cu LED-uri

Lămpile cu LED-uri utilizează ca sursă de lumină dioda electro-luminiscentă, care este un semiconductor ce emite lumină la trecerea curentului în sens direct prin joncţiunea p-n a diodei. Dioda electro-

luminiscentă are la bază fenomenul de luminiscenţă, care constă în emisia unui foton la recombinarea unui electron cu un gol (o sarcină negativă cu o sarcină pozitivă). Utilizarea LED-urilor a început în anul 1962, cu acea diodă luminiscentă care a emis radiaţie foarte slabă în zona roşie a spectrului luminos. Suprafaţa unei diode electro-luminiscente este mai mică de 1 mm^2, având şi un sistem optic integrat, care asigură reflexia emisiei radiaţiei în direcţia dorită.

Dioda electro-luminiscentă, pe lângă dimensiunile foarte reduse, are şi alte avantaje: consum extrem de redus de energie, robusteţe, aprindere rapidă, durabilitate şi stabilitate mari.

Faţă de aceste avantaje, există şi dezavantajele date de necesitatea menţinerii unui curent constant (depăşirea curentului critic duce la distrugerea LED-ului) şi preţul încă ridicat atunci când acestea echipează lămpi ce trebuie să înlocuiască lămpi clasice.

Cercetări în direcţia utilizării joncţiunilor p-n pentru emisia de lumină există de la începutul secolului XX, dar abia în 1961 cercetătorii Robert Biard şi Gary Pitmann au patentat LED-ul cu emisie în infraroşu. Primul LED cu emisie în spectrul vizibil a fost descoperit în 1962 de către Nick Holonyak jr., care a deschis calea cercetărilor ce au culminat cu realizarea LED-ului ce emite lumină albă.

Prima aplicaţie practică a LED-urilor a fost ca indicatoare a stării unor instalaţii. În jurul anului 1999 au fost realizate LED-uri capabile să absoarbă energie electrică de 1 W în mod continuu. În anul 2002 au fost realizate diode cu eficacitate luminoasă de 18-22 lm/W, superioară eficacităţii luminoase a lămpilor cu incandescenţă (care era inferioară valorii de 15 lm/W).

În anul 2003 au fost realizate LED-uri cu lumină albă cu o eficacitate luminoasă de 65 lm/W, la un curent de doar 25 mA.

În tabelul 4.9 sunt prezentate tipurile de LED-uri pentru toate culorile spectrului luminos, precum şi LED-ul care emite lumină albă, indicându-se şi materialele pe baza cărora sunt făcute.[47] Din tabel se observă marea sensibilitate faţă de căderea de tensiune pe LED care, la acelaşi material de bază determina modificarea culorii.

În februarie 2008 universitatea „Bilkent" din Turcia anunţa că a realizat un LED cu emisie în spectrul vizibil cu o eficacitate luminoasă de 300 lm/Wl, folosind nano-cristale[48].

Avantajele utilizării LED-urilor sunt următoarele:

- eficacitate luminoasă mai mare decât a lămpilor cu incandescenţă;
- emit lumină de diverse culori, fără a fi necesare filtre, care în instalaţiile clasice cresc costurile de instalare şi funcţionare;

[47] http://en.wikipedia.org/wiki/LED
[48] Idem 46.

- mărimea extrem de redusă (chiar sub 2 mm^2) le permite utilizarea în cele mai diverse instalaţii miniaturizate;
- timpul de aprindere/stingere este foarte redus (de ordinul microsecundelor);
- frecvenţa de comutare de la poziţia aprins la poziţia stins, şi invers, este foarte mare, ceea ce face ca ele să fie utilizabile în transmisii de date;
- fluxul luminos poate fi diminuat prin modularea lăţimii de puls sau prin scăderea curentului prin joncţiune;
- căldura dezvoltată este foarte redusă;
- scăderea fluxului luminos în timp este redusă;

Tabel 4.9

Culoare	Lungime de undă [nm]	Tensiune [V]	Material
Infraroşu	$\lambda>760$	$\Delta U<1,9$	Galiu-Arseniu (GaAs) Aliuminiu-Galiu-Arseniu (AlGaAs)
Roşu	$610<\lambda<760$	$1,63<\Delta U<2,03$	Aliuminiu-Galiu-Arseniu (AlGaAs) Galiu-Arseniu-Fosfor (GaAsP) Aluminiu-Galiu-Indiu-Fosfor (AlGaInP) Galiu-Fosfor (GaP)
Oranj	$590<\lambda<610$	$2,03<\Delta U<2,10$	Galiu-Arseniu-Fosfor (GaAsP) Aluminiu-Galiu-Indiu-Fosfor (AlGaInP) Galiu-Fosfor (GaP)
Galben	$570<\lambda<590$	$2,10<\Delta U<2,18$	Galiu-Arseniu-Fosfor (GaAsP) Aluminiu-Galiu-Indiu-Fosfor (AlGaInP) Galiu-Fosfor (GaP)
Verde	$500<\lambda<570$	$1,9<\Delta U<4,0$	Indiu-Galiu-Azot (InGaN) Galiu-Azot (GaN) Galiu-Fosfor (GaP) Aluminiu-Galiu-Indiu-Fosfor (AlGaInP) Aluminiu-Galiu-Fosfor (AlGaP)
Albastru	$450<\lambda<500$	$2,48<\Delta U< 3,7$	Zinc-Seleniu (ZnSe) Indiu-Galiu-Azot (InGaN) Siliciu-Carbon ca substrat (SiC) Siliciu ca substrat (Si) (în cercetare)
Violet	$400<\lambda<450$	$2,76<\Delta U< 4,0$	Indiu-Galiu-Azot (InGaN)
Ultraviolet	$\lambda<400$	$3,1<\Delta U<4,4$	Diamant (235 nm) Bor-Azot (215 nm) Aluminiu-Azot (AlN) (210 nm) Aluminiu-Galiu-Azot (AlGaN) Aluminiu-Galiu-Indiu-Azot (AlGaInN) (<210 nm)
Alb	Întregul spectru	$\Delta U=3,5$	Dioda albastru/ultraviolet cu fosfor galben

- durata de viaţă este estimată între 35.000 şi 50.000 de ore, putând ajunge chiar şi la 100.000 de ore;
- sunt rezistente la şocuri;
- prin proiectare şi executare corespunzătoare, LED-urile poate emite lumină concentrată/focalizată;
- deoarece nu conţin mercur, LED-urile nu sunt toxice pentru mediu.

Faţă de aceste avantaje, există şi dezavantaje, printre care:

- dependenţa de tensiunea de alimentare, a cărei valoare nu poate varia foarte mult, din care cauză sunt necesare rezistoare înseriate sau surse de alimentare cu reglare fină a curentului;
- performanţele LED-urilor depind în mare măsură de temperatura mediului în care funcţionează, fiind sensibile mai ales la creşterea temperaturii exterioare;
- preţul per unitatea de flux unitatea de flux luminos este încă mai mare decât la alte surse de lumină;
- aria de iluminare este limitată, datorită construcţiei lor;
- producerea efectului neplăcut cunoscut sub denumirea de „poluare luminoasă”.

Odată cu dezvoltarea explozivă a LED-urilor de mare putere şi mare eficienţă, a devenit posibilă utilizarea lor în tehnica iluminatului. Deoarece lămpile clasice vor fi înlocuite în timp cu lămpi cu LED-uri (*Fig. 4.23*), acestea trebuie astfel realizate încât să poată fi montate în aceleaşi socluri din instalaţiile existente.

Lămpile cu LED-uri sunt utilizate la semaforizarea intersecţiilor, la iluminatul stradal. În iluminatul arhitectural, unde schimbarea culorilor are efecte benefice, utilizarea lămpilor cu LED-uri a căror culoare se schimbă în funcţie de tensiunea de alimentare este chiar o soluţie adecvată.

Fig. 4. 23 Lampă cu LED-uri, cu soclu Edison.

În anul 2007, oraşul italian Torraca a fost primul unde s-a înlocuit întregul sistem de iluminat stradal clasic cu un sistem de iluminat cu LED-uri.

LED-urile pot intra în componenţa sistemului de poziţionare, semnalizare şi iluminare al autoturismelor. Lămpile cu LED-uri nu au o curbă fotometrică largă, pentru a asigura o uniformitate corespunzătoare a iluminării pentru o anumită suprafaţă. Este necesară deci o nouă abordare în proiectarea instalaţiilor de iluminat care să folosească surse de lumină cu LED-uri.

Capitolul 5. APARATE DE ILUMINAT

5.1. Caracteristici şi clasificări ale aparatelor de iluminat

5.1.1. Caracteristici ale aparatelor de iluminat

Sursele electrice de lumină se montează în general în **aparate (corpuri) de iluminat**, care îndeplinesc următoarele funcţiuni:

- permit fixarea şi alimentarea cu energie electrică a lămpii;
- protejează lampa împotriva agenţilor exteriori;
- reduc luminanţa sursei de lumină şi maschează elementele strălucitoare, în scopul reducerii (evitării) efectului de orbire;
- modifică compoziţia spectrală a luminii;
- modifică distribuţia fluxului luminos emis de către sursă;
- permit montarea elementelor auxiliare necesare amorsării şi stabilizării punctului de funcţionare;
- asigură protecţia împotriva electrocutării.

Aparatele de iluminat se compun de obicei dintr-un **sistem optic** şi o **armătură**. Sistemul optic are rolul de a distribui, controla, reflecta şi/sau transmite fluxul luminos, asigurând un anumit grad de protecţie surselor de lumină.

Armătura cuprinde dispozitivul de fixare pe elementul de susţinere, dispozitivul de fixare a sursei/surselor, balasturile, starterele, condensatoarele, soclurile, clemele, conductoarele de alimentare. Aparatele de iluminat trebuie să aibă un aspect plăcut, să fie uşor de instalat, să permită montarea lămpii în poziţia de funcţionare indicată de constructor, să menţină o temperatură de funcţionare constantă, în limitele admise, să permită o întreţinere permanentă, asigurând acces rapid pentru curăţare, schimbare sursă sau reparaţii.

În funcţie de **unghiul solid** în care este emis fluxul luminos, se deosebesc:

– **aparate (corpuri) de iluminat obişnuite**, destinate spaţiilor reduse, având distribuţie largă a fluxului luminos şi rază mică de acţiune, şi

– **proiectoare**, care emit fluxul luminos într-un unghi solid mic, caracterizate prin intensitate luminoasă mare şi rază de acţiune mare.

După **felul surselor de lumină** şi după **domeniul de utilizare**,

aparatele (corpurile) de iluminat se clasifică în:

– aparate de iluminat pentru **lămpi cu incandescenţă**;
– aparate de iluminat pentru **lămpi fluorescente**;
– aparate de iluminat pentru **lămpi cu descărcări în gaze sau vapori metalici**;
– aparate de iluminat pentru **iluminat decorativ – arhitectural**;
– aparate de iluminat pentru **iluminatul de urgenţă**;
– aparate de iluminat pentru **medii speciale**;
– aparate de iluminat pentru **semnale** (semafoare rutiere sau feroviare);
– aparate de iluminat pentru **semnalizarea prezenţei obstacolelor aeriene**;
– aparate de iluminat pentru **autovehicule**.

În tabelul 5.1[49] sunt redate gradele de protecţie, cu indicarea semnificaţiei fiecărei cifre: astfel, în simbolizarea IPxy, x ia valori de la 1 la 6 şi reprezintă protecţia la pătrunderea materialelor solide, iar y ia valori de la 1 la 8 şi reprezintă protecţia asigurată de corpul de iluminat la pătrunderea apei.

Tabel 5.1

Prima cifră Protecţie la pătrunderea corpurilor solide IP…y	Simbolul grafic	A doua cifră Protecţie la apă IPx…	Simbolul grafic
1. Protejat contra corpurilor solide mai mari de 50 mm		1. Protejat la picături de apă care cad vertical (condens)	
2. Protejat contra corpurilor solide mai mari de 12 mm		2. Protejat la picături de apă care cad până la 15º faţă de verticală	
3. Protejat contra corpurilor solide mai mari de 2,5 mm		3. Protejat la ploaie, cu stropi până la 60º faţă de verticală	
4. Protejat contra corpurilor solide mai mari de 1 mm		4. Protejat contra stropilor de apă din toate direcţiile	
5. Protejat la praf fără presiune		5. Protejat împotriva jeturilor de apă din toate direcţiile, cu p=0,3 bar	
6. Protejat total la praf		6. Protejat împotriva jeturilor de apă din toate direcţiile	
		7. Protejat la imersie în apă până la 1 m	
		8. Protejat la efectul imersiei prelungite la adâncimi mai mari de 1m	

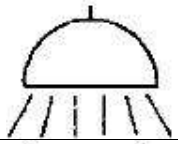
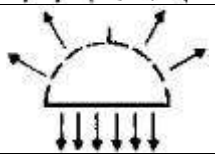
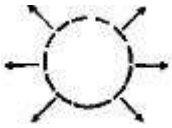
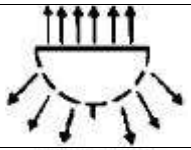
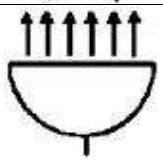
[49] *Corpuri şi sisteme de iluminat produse la S.C. Elba SA*, oct. 2005.

În tabelul 5.2 sunt prezentate clasele de protecţie împotriva electrocutării.

Tabel 5.2

Clasa de protecţie	Simbolul grafic	Semnificaţia
Clasa 0		Protecţia se realizează prin izolaţia de bază. Nu are bornă de protecţie. Se admite pentru CIL la înălţime.
Clasa I		Protecţia se realizează prin izolaţia de bază şi borna de protecţie.
Clasa II		Protecţia este asigurată prin mijloace de protecţie suplimentare (izolaţie dublă). Nu are bornă de protecţie.
Clasa III		CIL alimentat la o tensiune foarte joasă (mai mică de 50 V).

Tabel 5.3

Tipul iluminării	Emisia fluxului luminos		Materialul CIL
Directă		90-100%	opac-reflectorizant
Semi-directă		10-40% 60-90%	transparent-parţial reflectorizant
Mixtă		40-60% 40-60%	transparent
Semi-indirectă		60-90% 10-40%	transparent-parţial reflectorizant
Indirectă		90-100%	opac-reflectorizant

În funcţie de **distribuţia** fluxului luminos faţă de un plan orizontal care trece prin sursă, aparatele de iluminat se clasifică în (*Tabel 5.3*):

– aparate de iluminat cu **repartiţie directă**, la care cel puţin 90% din fluxul luminos este emis în emisfera inferioară;

– aparate de iluminat cu **repartiţie semi-directă**, la care fluxul luminos emis în emisfera inferioară este între 60% şi 90% din fluxul luminos total;

– aparate de iluminat cu **repartiţie mixtă**, care emit în fiecare din cele două emisfere o fracţiune cuprinsă între 40% şi 60% din fluxul luminos total;

– aparate de iluminat cu **repartiţie semi-indirectă**, care emit în emisfera superioară între 60% şi 90% din fluxul total emis;

– aparate de iluminat cu **repartiţie indirectă**, care emit în emisfera superioară peste 90% din fluxul total emis.

Aparatele (corpurile) de iluminat sunt caracterizate prin:

– curbe fotometrice (curbe de distribuţie a intensităţilor luminoase);

– coeficient de amplificare;

– randament;

– unghi de protecţie;

– factor de depreciere.

Noţiunea de **aparat de iluminat (AIL)** a fost introdusă prin Dicţionarul Luminotehnicii, în anul 2001, pentru a fi în concordanţă cu semnificaţiile cuprinse în limbile europene. Cu această dată se propune renunţarea la noţiunea de **corp de iluminat (CIL)**, care în limbile europene are altă semnificaţie decât ceea ce se înţelegea până atunci. Însă în cataloagele româneşti încă se mai foloseşte noţiunea de corp de iluminat[50].

Curbele fotometrice

Curbele fotometrice ale aparatelor de iluminat reprezintă distribuţia intensităţilor luminoase în diferite planuri. Acestea sunt date pentru un anumit corp în ipoteza că sursa luminoasă montată în el emite un flux luminos total de 1.000 lm.

Pentru cazul real, când fluxul luminos al lămpii Φ_l este diferit de această valoare, intensitatea luminoasă după o anumită direcţie se corectează prin înmulţire cu factorul $\Phi_l/1.000$.

Aparatele de iluminat modifică curba fotometrică a sursei, în scopul obţinerii unei variante mai bune, astfel încât uniformitatea iluminării în planul de lucru să fie cât mai mare.

Dacă aparatul de iluminat are două axe de simetrie (cazul obişnuit), se vor da curbele fotometrice în ambele plane. Dacă aparatul de iluminat este nesimetric sunt necesare mai multe curbe fotometrice de distribuţie, numărul lor fiind determinat de gradul de nesimetrie.

Curbele fotometrice pentru aparate de iluminat interior şi exterior sunt date de către producători.

[50] *Corpuri şi sisteme de iluminat*, catalog Elba SA, 2005.

Coeficientul de amplificare C_a

Coeficientul de amplificare este o caracteristică mai puţin utilizată, fiind definit cu relaţia

$$C_a = \frac{I_{mx}}{I_{ms}}, \qquad (5.1)$$

unde I_{mx} este intensitatea maximă rezultată din curba fotometrică, iar I_{ms} este intensitatea medie sferică, dată de relaţia

$$I_{ms} = \frac{\Phi_c}{4\pi}, \qquad (5.2)$$

în care Φ_c este fluxul luminos emis de către aparatul (corpul) de iluminat, iar 4π [steradiani] este unghiul solid maxim.

În consecinţă, coeficientul de amplificare se poate exprima şi cu relaţia

$$C_a = \frac{4\pi \cdot I_{mx}}{\Phi_c}. \qquad (5.3)$$

Coeficientul de amplificare indică gradul de modificare al curbei fotometrice corespunzătoare sursei, de către aparatul de iluminat.

Randamentul

Randamentul unui aparat de iluminat η_c este raportul dintre fluxul luminos Φ_c emis de către corpul respectiv şi fluxul luminos Φ_{lt} emis de lampa/lămpile montată/e în acelaşi aparat de iluminat:

$$\eta_c = \frac{\Phi_c}{\Phi_{lt}}. \qquad (5.4)$$

Randamentul aparatului de iluminat depinde de materialul din care este confecţionat, precum şi de construcţia sa. Valoarea randamentului este subunitară, datorită factorului de absorbţie a luminii, de către materialul din care este realizat aparatul de iluminat.

Unghiul de protecţie

Unele aparate de iluminat sunt astfel construite încât din anumite puncte din spaţiu se pot vedea elementele strălucitoare ale sursei luminoase, iar din alte puncte spaţiale aceste elemente nu sunt vizibile, ochiul fiind protejat.

Unghiul de protecţie γ este acel unghi format de verticală cu linia limită sub care poate fi văzută direct sursa de lumină (*Fig. 5.1*).

El poate fi determinat, în cazul corpurilor în care sunt montate lămpi

cu incandescenţă, cu relaţia

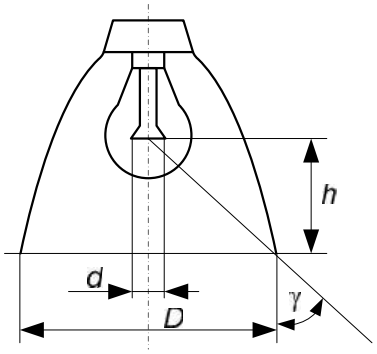


Fig. 5. 1 Unghiul de protecţie al unui corp de iluminat.

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{D+d}{2h}, \qquad (5.5)$$

unde mărimile ce intervin se pot observa în figura 5. 1.

Unghiul de protecţie influenţează în mod semnificativ calitatea sistemului de iluminat.

Factorul de depreciere

Acest factor caracterizează faptul că în timpul exploatării fluxul emis de către aparatul de iluminat Φ_m scade faţă de fluxul emis în starea iniţială Φ_i din cauza îmbătrânirii materialului, depunerilor de impurităţi pe suprafaţa sa etc.

Valoarea factorului de depreciere este dată de relaţia

$$\Delta = \frac{\Phi_m}{\Phi_i} < 1. \qquad (5.6)$$

Uneori, factorul de depreciere este indicat prin valoarea sa inversă:

$$k = \frac{1}{\Delta} > 1. \qquad (5.7)$$

5.1.2. Clasificări ale aparatelor de iluminat

Având în vedere multitudinea aparatelor de iluminat şi dezvoltarea continuă a producţiei acestora, izvorâtă din cerinţele tot mai diversificate ale utilizatorilor, o clasificare exhaustivă a acestora este practic imposibilă.

Luând în considerare însă anumite criterii, aparatele de iluminat pot fi grupate în anumite categorii.

Astfel, dacă luăm în considerare **scopul şi funcţionalitatea** acestora, se pot considera următoarele clase:

- aparate de iluminat pentru uz comercial;
- aparate de iluminat pentru uz industrial;
- aparate pentru iluminatul public stradal;
- aparate de iluminat pentru iluminatul de siguranţă;
- aparate de iluminat arhitectural şi ambiental;
- aparate de iluminat pentru teatre şi studiouri;
- aparate de iluminat pentru semnalizare luminoasă;
- aparate de iluminat pentru autovehicule.

5.2. Tipuri de aparate de iluminat

5.2.1. Aparate de iluminat pentru uz comercial

Aparatele de iluminat pentru uz comercial pot fi echipate cu lămpi fluorescente sau cu lămpi cu soclu Edison. Evident forma şi dimensiunile acestora depind de modul de echipare.

AIL echipate cu lămpi fluorescente pot fi:

– cu montare vizibilă (pe tavan), când partea superioară a armăturii aparatului este fixată chiar pe tavan;

– cu montare încastrată (pe tavan), când AIL sunt încastrate în tavane false, făcând parte dintr-o montură care poate să conţină şi aparate de aer condiţionat;

– suspendate, când AIL se află la o anumită distanţă faţă de tavan şi mai apropiate de planul de lucru, acolo unde necesităţile activităţii zilnice o cer (instituţii publice, bănci, ateliere de croitorie etc.).

O categorie aparte a AIL de tip comercial o reprezintă spoturile şi proiectoarele, care pot fi echipate cu lămpi fluorescente compacte, cu soclu Edison sau cu soclu cu ace. Acestea au forme şi dimensiuni diferite, în funcţie de fabricant, de locul şi scopul utilizării, unele din ele fiind echipate chiar cu LED-uri.

Pentru interioarele încăperilor din locuinţe, hoteluri şi unele birouri, se folosesc AIL ambiental interior, cum ar fi aplicele şi plafonierele, care se pot monta pe tavan sau pe pereţi. Ele pot fi echipate cu lămpi fluorescente clasice sau compacte, sau cu lămpi cu soclu Edison.

5.2.2. Aparate de iluminat pentru uz industrial

Aparate de iluminat pentru uz industrial necesită unele măsuri suplimentare. De aceea, firmele produc AIL:

– protejate la praf şi/sau umezeală, care pot fi echipate cu tuburi fluorescente liniare sau cu lămpi fluorescente compacte, sau cu lămpi cu soclu Edison;

– pentru medii speciale, care pot fi echipate ca şi cele de mai sus, dar cu protecţii suplimentare: împotriva exploziilor, împotriva temperaturilor ridicate;

– pentru iluminatul halelor industriale, care la rândul lor pot fi:

- cu înălţimi sub 5 m, fără degajări de fum şi praf, când pot fi echipate cu tuburi fluorescente;
- cu înălţimi peste 5 m, cu degajări de praf şi umiditate, când aparatele sunt echipate cu lămpi cu vapori de mercur sau cu lămpi cu vapori de sodiu, şi conţin un dispozitiv reflectant şi elemente de protecţie şi etanşare; aceste AIL pot fi folosite de asemenea în spaţiile comerciale de foarte mari dimensiuni.

5.2.3. Aparate de iluminat pentru iluminatul public stradal

Aparatele pentru iluminatul public stradal reprezintă o categorie mai aparte, deoarece trebuie să îndeplinească câteva condiţii de exploatare deosebite. Ele trebuie să reziste la vibraţii determinate de vânturi, la intemperii, necesitând un anumit grad de protecţie (vezi *Tabel 5.1*). Sistemul lor optic trebuie să conţină un reflector care să asigure o anumită curbă fotometrică, având în vedere că între stâlpii pe care se montează pot fi distanţe de până la 50 m.

Aparatele de iluminat stradal trebuie să asigure un anumit grad de uniformitate longitudinală şi transversală (a iluminărilor, dar şi a luminanţelor), o anumită iluminare minimă a trotuarelor şi un anumit grad minim de orbire.

Pentru iluminarea tunelurilor rutiere şi a pasajelor subterane se produc AIL specializate, echipate cu lămpi fluorescente, cu lămpi cu vapori de sodiu de joasă sau înaltă presiune, montate aparent sau îngropat.

5.2.4. Aparate de iluminat pentru iluminatul de siguranţă

Pentru iluminatul de siguranţă se pot folosi AIL special proiectate şi executate, dar se pot utiliza şi aparate pentru iluminatul normal.

Aparatele de iluminat speciale sunt echipate cu surse corespunzătoare, cu elemente colorate (în funcţie de scopul utilizării), cu inscripţionări şi uneori cu un sistem de comutare automată, la căderea tensiunii de alimentare a iluminatului normal. În acest scop, aparatele pentru iluminatul de siguranţă pot conţine un montaj electronic care asigură încărcarea acumulatorului în perioada în care este prezentă tensiunea reţelei şi alimentarea de la acumulator în cazul absenţei tensiunii de la reţea.

Aceste aparate sunt în general echipate cu lămpi fluorescente de putere mică (8-10 W).

5.2.5. Aparate de iluminat arhitectural şi ambiental

a) Pentru iluminarea unor clădiri cu arhitectură deosebită se folosesc aparate de iluminat arhitectural, special destinate acestui scop, care de fapt sunt proiectoare echipate cu lămpi cu halogen, cu vapori de sodiu sau compacte. De regulă au soclu de tip Edison (E27, E40), fiind protejate la şocuri termice şi intemperii. Sunt echipate cu reflector din tablă de aluminiu. Emisia fluxului luminos se realizează de regulă într-un unghi solid mic, ceea ce determină obţinerea unui fascicul luminos cu un coeficient de amplificare

mare a intensităţilor luminoase.

Forma lor poate varia (paralelipipedică, conică, tronconică). Unele aparate din această categorie sunt protejate la pătrunderea apei, putând fi scufundate până la 10 m adâncime, pentru iluminarea fântânilor arteziene sau a piscinelor.

Aceste aparate se mai utilizează pentru iluminarea parcărilor, a zonelor sportive şi de agrement, şi uneori a unor spaţii industriale.

b) Categoria aparatelor de iluminat ambiental cuprinde AIL utilizate în iluminatul ornamental de exterior, adică a aleilor, trotuarelor, grădinilor şi parcurilor publice, putând fi montate pe stâlpi, pe clădiri, în trotuar, pe pereţii sau tavanele pasajelor pietonale, sau aproape de nivelul solului, având în consecinţă o multitudine de forme şi dimensiuni.

Ele sunt în general echipate cu lămpi fluorescente compacte, şi mai nou cu LED-uri.

5.2.6. Aparate de iluminat pentru teatre şi studiouri

În iluminatul tehnologic al scenelor de teatru, studiourilor cinematografice sau de televiziune, sunt folosite AIL speciale, cu un sistem complex şi deseori multifuncţional. Ele sunt de fapt proiectoare, care au un sistem optic complex, cu reflector din oglindă metalică (parabolică sau elipsoidală), care concentrează fluxul luminos într-un unghi solid îngust sau foarte îngust.

Uneori conţin şi lentile, care realizează o amplificare substanţială a intensităţii luminoase şi un spot foarte concentrat de lumină. Mai pot conţine filtre colorate, care se pot schimba prin comandă de la distanţă.

Puterea surselor care echipează aceste aparate variază între 500 W şi 3.000 W.

5.2.7. Aparate de iluminat pentru semnalizare luminoasă

În această categorie sunt cuprinse AIL necesare pentru semaforizarea circulaţiei şi pentru semnalizarea aeriană a obstacolelor.

Cele pentru semafoarele stradale sau feroviare sunt construite pentru a emite semnale luminoase de culoare roşie, galbenă sau verde sau de culoare galbenă intermitentă, ele fiind încă echipate cu lămpi cu incandescenţă, cu soclu de tip Edison (E27), dar mai nou fiind echipate şi cu LED-uri. Culoarea emisă de semafor este dată de un dispersor de policarbonat transparent suprainjectat, dispersor care asigură culoarea necesară.

Aparatele de iluminat care asigură iluminarea obstacolelor aeriene aflate sub 100 m au carcasa şi rama turnate sub presiune, utilizându-se

aluminiul sau siluminiul. Acestea sunt vopsite de regulă în galben. Dispersorul este în formă de paraboloid, fabricat din policarbonat roşu (galben, albastru sau transparent). Ele asigură protejarea sursei la intemperii, şocuri mecanice, fiind realizate în construcţie antiexplozivă.

5.2.8. Aparate de iluminat pentru autovehicule

În industria auto se folosesc aparate de iluminat de forme şi dimensiuni variate, în funcţie de rolul lor în echiparea autovehiculelor.

Astfel, sunt folosite aparate de iluminat a şoselelor (faruri), care sunt de fapt proiectoare prevăzute cu oglindă reflectorizantă şi dispersor transparent, ce dirijează fluxul luminos într-un unghi solid mic.

Pentru semnalizarea prezenţei sunt utilizate semnalizatoarele de poziţie, iar pentru semnalizarea schimbării direcţiei de mers sunt folosite semnalizatoare cu dispersor de culoare galbenă.

Aparatele pentru semnalizarea frânării dispun de dispersor de culoare roşie.

Pentru iluminatul interiorului autovehiculelor se utilizează de regulă lămpi cu dispersoare transparente, de multe ori comandate electronic.

O clasificare mult mai sumară se poate face după **spaţiul** în care AIL sunt utilizate:

– aparate de iluminat pentru interior;

– aparate de iluminat pentru exterior.

Această clasificare conţine AIL mai sus prezentate.

5.3. Suprafeţe luminoase sau luminate

În unele clădiri (săli de spectacole, muzee, magazine, restaurante, locuinţe de lux) se pot utiliza suprafeţe arhitecturale, care pot fi surse de lumină secundare. Acestea transmit sau reflectă fluxul luminos emis de sursele de lumină primare.

Suprafeţele de lumină secundară cuprind:

– suprafeţe luminoase (transmiţătoare), care pot fi plafoane luminoase sau pereţi luminoşi;

– suprafeţe luminate (reflectante), care pot fi plafoane luminate sau pereţi luminoşi.

5.3.1. Suprafeţe luminoase

Plafonul luminos este realizat din module transparente *4* (clare sau opaline) sau din grătar difuzant, montate suspendat de plafonul de rezistenţă *1* al camerei, cu ajutorul elementelor de prindere *5 – Fig. 5.2*.

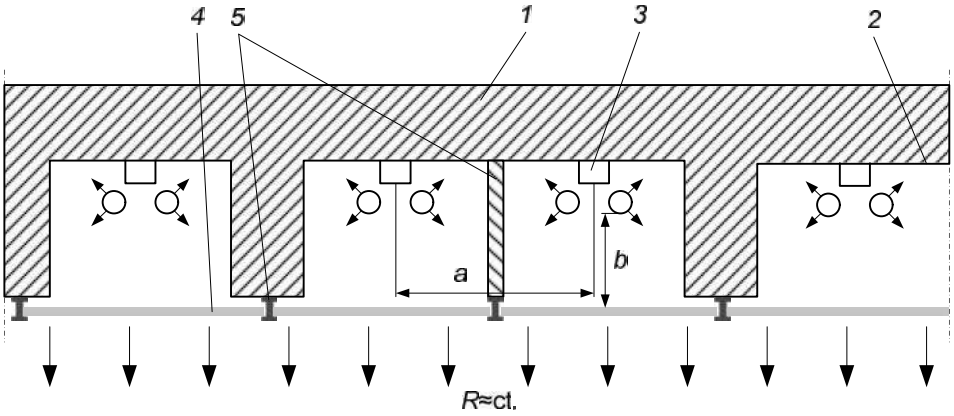


Fig. 5. 2 Plafon luminos: 1 – tavanul încăperii;2 – suprafaţă reflectantă interioară; 3 – AIL fluorescent; 4 – placă transparentă; 5 – elemente de prindere.

Plafonul luminos aduce avantajele că asigură o emitanţă luminoasă *R* aproximativ constantă şi are un aspect plăcut, dar şi dezavantajele că pierderile prin absorbţie sunt relativ mari (30-40%) iar depunerile de praf pe partea superioară a plăcii transparente (destul de rapidă) conduce la creşterea pierderilor prin absorbţie.

Suprafaţa reflectantă *2* trebuie să fie de culoarea albă, cu un coeficient de reflexie cât mai mare.

Aparatul de iluminat *3* poate fi fără reflector (de exemplu FIA-11-218) sau cu reflector (tip FIRA – produs de S.C. Elba SA Timişoara), caz în care adâncimea cavităţii trebuie să fie mai mare (astfel, pentru o distanţă a=0,65 m, rezultă o adâncime necesară b=0,83 m[51]), asigurându-se astfel o iluminare uniformă a plăcii transparente.

Plafoanele luminoase utilizând placă transparentă continuă asigură o distribuţie uniformă a iluminărilor, însă imaginea obţinută de ochiul uman pare fără relief. Plafoanele luminoase care utilizează grătar difuzant oferă o imagine mai bine conturată, datorită difuziei mai reduse.

Aceste plafoane se utilizează în cazurile în care iluminarea necesară în planul de lucru este mare (peste 1.000 lx, caz în care ar fi necesar un număr mare de aparate de iluminat pe tavan). Pe lângă cele două dezavantaje precizate anterior, plafonul luminos constituie o soluţie neeconomică din punct de vedere energetic, domeniul de aplicare al acestuia fiind restrâns.

Peretele luminos este realizat din materiale perfect difuzante, cu coeficienţi de transmitere reduşi, care asigură o luminanţă mult diminuată a surselor de lumină, protejând astfel ochiul omenesc.

[51] **Bianchi, C., ş.a.** *Sisteme de iluminat interior şi exterior*, Ed. Matrix Rom, Bucureşti, 2001.

Modul de realizare practică este similar cu cel utilizat la realizarea plafonului luminos. Peretele luminos se utilizează mai rar, ca element decorativ (îndeosebi pentru punerea în evidenţă a unor exponate) sau pentru obţinerea unor efecte luminoase în localuri de divertisment.

Atât plafoanele luminoase, cât şi pereţii luminoşi sunt surse secundare sau adiţionale pentru iluminatul general al unei încăperi.

5.3.2. Suprafeţe luminate

Plafonul luminat se realizează cu ajutorul unor scafe de lumină, montate pe conturul încăperii sau pe zone din tavan, contribuind şi la obţinerea unui efect arhitectural dorit. Aparatele de iluminat se montează de preferinţă ca o linie luminoasă continuă (dacă sunt echipate cu lămpi fluorescente), protejate de scafă. Dacă se folosesc surse punctiforme, se recomandă montarea a 6 lămpi/metru, iar dacă sursele sunt cu soclu Edison se recomandă utilizarea a 3 lămpi/metru. Fluxul luminos al acestora se reflectă de suprafaţa interioară a scafei, care trebuie să fie albă şi perfect difuzantă, în scopul realizării unei eficacităţi luminoase ridicate.

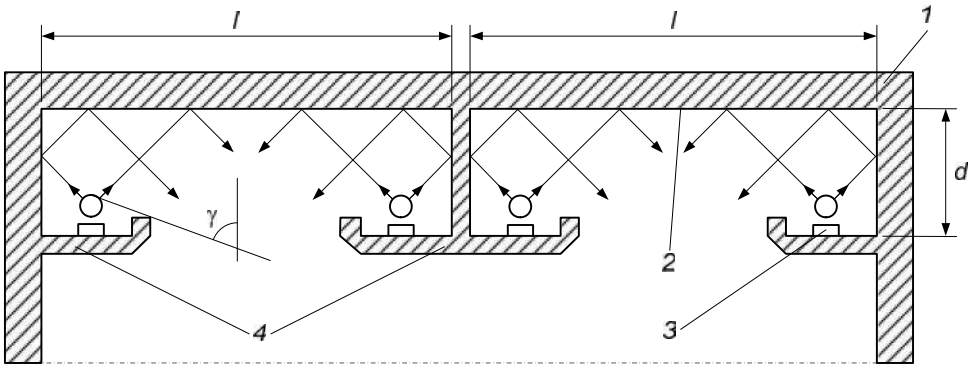


Fig. 5. 3 Plafon luminat: 1 – tavanul încăperii;2 – suprafaţă reflectantă interioară; 3 – AIL fluorescent; 4 – elemente de susţinere şi mascare.

În scopul obţinerii unei emitanţe a plafonului cât mai uniformă, este recomandată varianta cu scafe montate pe conturul încăperii şi pe zone din tavan (*Fig. 5.3*), realizându-se astfel condiţia ca $d > 1/3 \cdot l$.

Utilizarea plafoanelor luminate este de asemenea o soluţie neeconomică. Se folosesc când se doreşte evidenţierea unui plafon decorativ, reducerea contrastelor şi/sau realizarea unui mediu ambiental plăcut.

Peretele luminat se poate obţine utilizând scafe orizontale sau verticale. Se foloseşte ca iluminat secundar, de completare a iluminatului principal al încăperii, cu scopul de a creşte confortul vizual al acesteia. Acesta are aceleaşi dezavantaje ca şi tavanul luminat.

Capitolul 6. SISTEME DE ILUMINAT

Se defineşte **sistemul de iluminat** ca fiind un ansamblu de aparate de iluminat, echipate cu sursele de lumină şi cu toate accesoriile necesare, dispuse în urma unui calcul al iluminării după o metodă aleasă, în scopul realizării unui iluminat confortabil,

– care să permită desfăşurarea unei activităţi umane într-o încăpere sau realizarea unor anumite funcţiuni (**sistem de iluminat interior**), ori

– care să asigure deplasarea autovehiculelor şi pietonilor sau desfăşurarea unor activităţi în spaţii deschise pe timpul nopţii (**sisteme de iluminat exterior**).

Cea mai largă clasificare a sistemelor de iluminat cuprinde:

- ❑ sistemele de iluminat interior;
- ❑ sisteme de iluminat exterior.

6.1. Sisteme de iluminat interior

Sistemele de iluminat interior sunt acele sisteme care se referă doar la spaţii închise, asigurând iluminarea necesară – independent sau complementar cu iluminarea diurnă – desfăşurării activităţilor umane în aceste spaţii.

După scopul realizării lor, sistemele de iluminat interior se clasifică în:

– sisteme de iluminat normale şi

– sisteme de iluminat de siguranţă.

6.1.1. Sisteme de iluminat normal

Aceste sisteme se pot clasifica la rândul lor – după rolul pe care îl îndeplinesc – în două categorii:

- **sisteme de iluminat principale**, care asigură iluminarea în planul de lucru, fiind necesară desfăşurării activităţii umane;
- **sisteme de iluminat secundare**, care au un domeniu mai restrâns de aplicabilitate, fiind folosite ca sisteme adiţionale, în spaţii şi locuri deosebite; ele pot contribui la realizarea unor aspecte vizuale speciale, la punerea în valoare a unor obiecte sau a unor suprafeţe caracteristice,

având rol decorativ. Aceste sisteme se mai pot folosi pentru delimitarea unor zone de interes.

Sistemele de iluminat principale se pot clasifica la rândul lor după mai multe criterii:

- după distribuţia spaţială a fluxului luminos în cele două emisfere (limitate de planul orizontal în care se află corpul de iluminat) şi
- după distribuţia fluxului luminos şi a iluminării în planul de lucru.

În funcţie de distribuţia spaţială a fluxului luminos, clasificarea sistemelor de iluminat are în vedere raportul dintre fluxul emis într-o emisferă – Φ_i, Φ_s – şi fluxul total emis de aparatul de iluminat – Φ_c (a se vedea şi tabelul 5.3).

- **Sistemul de iluminat direct**, care utilizează aparate de iluminat cu iluminare directă, realizează un raport $\Phi_i/\Phi_c>0,9$ sau $\Phi_s/\Phi_c<0,1$. Acest sistem are un randament mare, deoarece cea mai mare parte a fluxului luminos este dirijată către planul de lucru, asigurând în acelaşi timp contraste mari şi o bună observare în spaţiu a obiectelor privite. Sistemul de iluminat direct este folosit la iluminatul încăperilor de înălţime medie şi mare, în iluminatul halelor.

  Nu se recomandă în iluminatul spaţiilor unde se desfăşoară activităţi intelectuale, datorită neuniformităţii mari a iluminărilor în planul de lucru şi a luminanţelor din câmpul vizual.

- **Sistemul de iluminat semi-direct**, care utilizează aparate de iluminat cu iluminare semi-directă, realizează un raport $0,6<\Phi_i/\Phi_c<0,9$ sau $0,4>\Phi_s/\Phi_c>0,1$. Acest sistem are un randament acceptabil, deoarece o mare parte a fluxului luminos este dirijată direct către planul de lucru, o altă parte ajungând la planul de lucru prin reflexia fluxului luminos de către tavan şi pereţi; acest sistem asigură o uniformitate mai mare a iluminării în planul de lucru şi a luminanţelor din câmpul vizual. Sistemul de iluminat semi-direct este recomandat pentru iluminarea încăperilor de înălţimi mici, unde este necesară o precizie relativ ridicată în perceperea sarcinilor vizuale (obiectele sau detaliile lor, asupra cărora se realizează acţiunea vizuală).

- **Sistem de iluminat mixt** – numit de către alţi autori sistem direct-indirect – utilizează aparate de iluminat cu iluminare mixtă, realizând un raport $0,4<\Phi_i/\Phi_c<0,6$ sau $0,6>\Phi_s/\Phi_c>0,4$; acest sistem are un randament acceptabil, deoarece fluxul luminos al AIL este dirijat aproximativ egal în cele două emisfere, conducând la o uniformitate a luminanţei în câmpul

vizual. Acest sistem este recomandat în încăperile unde se desfăşoară procese de muncă intelectuală, camere de odihnă sau de divertisment. Sistemul de iluminat mixt asigură un consum acceptabil de energie electrică.

- **Sistemul de iluminat semi-indirect** utilizează aparate de iluminat cu iluminare semi-indirectă, realizând un raport $0,6<\Phi_s/\Phi_c<0,9$ sau $0,4>\Phi_i/\Phi_c>0,1$. Acest sistem este recomandat în încăperile unde tavanul şi pereţii au un coeficient de reflexie mare, având în vedere că o mare parte a fluxului luminos este dirijată în emisfera superioară şi ajunge în planul (zona) de lucru prin reflexie. Asigură o uniformitate mare a luminanţelor şi un efect psihologic de mărire a înălţimii în încăperile în care este folosit. Sistemul de iluminat semi-indirect asigură un consum acceptabil de energie electrică.
- **Sistemul de iluminat indirect** utilizează aparate de iluminat cu iluminare indirectă, realizând un raport $\Phi_i/\Phi_c<0,1$ sau $\Phi_s/\Phi_c>0,9$. Acest sistem este de asemenea recomandat în încăperile unde tavanul şi pereţii au un coeficient de reflexie mare, având în vedere că cea mai mare parte a fluxului luminos este dirijată în emisfera superioară şi ajunge în planul (zona) de lucru prin reflexie. Având în vedere că factorul de reflexie este subunitar, randamentul acestui sistem este mai redus faţă de celelalte, dar confortul vizual realizat de uniformitatea luminanţelor este maxim. Se recomandă în birouri în care se lucrează exclusiv cu calculatoarele, deoarece asigură evitarea reflexiilor parazitare de voal de pe ecranele acestora, concomitent cu efectul psihologic de mărire a înălţimii acestor birouri. Din punct de vedere energetic sistemul de iluminat indirect nu este avantajos.

În funcţie de distribuţia fluxului luminos şi a iluminării în planul de lucru, clasificarea sistemelor de iluminat are în vedere uniformitatea repartizării fluxului luminos în planul de lucru, adică uniformitatea iluminării. După acest criteriu se disting:

- **Sistemul de iluminat general uniform-distribuit**, care asigură o mare uniformitate a iluminării în planul de lucru, utilizând pentru aceasta o amplasare simetrică a aparatelor de iluminat în planul plafonului. Prin realizarea unei scheme electrice corespunzătoare acest sistem permite sectorizarea sa, când asigură completarea iluminatului diurn, sau când anumite sectoare ale unei săli nu sunt folosite (de exemplu, sălile de curs de dimensiuni mari).
- **Sistemul de iluminat general localizat (zonal)**, care se

utilizează atunci când într-o anumită incintă (de dimensiuni mari) se desfăşoară mai multe tipuri de activităţi, având şi căi de circulaţie, fiecare zonă necesitând un anumit nivel de iluminare. Pentru a se face economie de energie electrică este necesar a se face calculul iluminării pentru fiecare zonă, respectiv pentru căile de acces. Acest sistem determină o distribuţie neuniformă a luminanţelor în câmpul vizual.

- **Sistemul de iluminat local**, care asigură un nivel de iluminare ridicat numai pe o suprafaţă restrânsă a planului (zonei) de lucru, poate fi suplimentar iluminatului general (ce poate astfel asigura un nivel de iluminare mai redus), formând în acest mod un **sistem de iluminat combinat.** Utilizarea sistemului de iluminat local este recomandată în cazul:
  - sarcinilor vizuale de precizie mare şi foarte mare;
  - suprafeţelor al căror relief trebuie controlat;
  - în care iluminatul general nu este suficient;
  - în care se poate demonstra că astfel se face o reducere substanţială a consumului de energie electrică.
- **Sistemul de iluminat de completare** a iluminatului diurn, care se utilizează pentru completarea iluminatului diurn mai ales în zonele depărtate de ferestre, în vederea diminuării efectului de siluetă şi realizării unei uniformităţi acceptabile a iluminărilor şi luminanţelor. Acest sistem este neeconomic, datorită consumului suplimentar de energie electrică.

6.1.2. Sisteme de iluminat de siguranţă

Sistemul de iluminat de siguranţă asigură continuarea activităţii, evacuarea incintei sau alte funcţiuni în cazul întreruperii alimentării cu energie electrică a iluminatului normal.

Sistemul de iluminat de siguranţă pentru continuarea lucrului are rolul de a asigura continuarea activităţilor la acelaşi nivel de iluminare sau la unul mai scăzut, în cazul acelor activităţi care nu pot fi întrerupte:

- în spaţiile în care întreruperea iluminatului normal poate determina explozii, incendii, pagube materiale, accidente;
- în sălile de operaţii ale spitalelor şi policlinicilor;
- în laboratoarele speciale;
- în încăperi în care se desfăşoară activităţi importante în instituţii vitale ale statului.

Acest sistem necesită surse de alimentare cu energie electrică care pot fi: baterii de acumulatoare, grup electrogen, sursă separată alimentată de la SEN prin linie distinctă.

Sistemul de iluminat de siguranţă pentru intervenţii are rolul de a

asigura iluminarea necesară pentru intervenţii ale personalului de exploatare în spaţiile în care există aparate sau utilaje care trebuie comandate sau manevrate la întreruperea alimentării iluminatului normal.

Acest sistem de iluminat de siguranţă se face de la baterii de acumulatoare care trebuie să asigure o durată de funcţionare de 1-3 ore.

Sistemul de iluminat de siguranţă pentru evacuare şi alte funcţiuni are rolul de a asigura nivelul de iluminare minim pentru evacuarea clădirilor în cazul întreruperii alimentării iluminatului normal şi unele funcţiuni conexe securităţii în cazul unor situaţii accidentale, sau în condiţii de noapte.

În tabelul 6.1 sunt prezentate nivelurile de iluminare conform normativului NP 061-02[52], în care se respectă şi prevederile standardului SR 12294 – Iluminatul de siguranţă în industrie.

Pe plan mondial se recomandă următoarele valori:

– pentru evacuare şi evitarea panicii 1% din nivelul normat dar nu mai puţin de 5 lx;

– pentru intervenţie minimum 5% din nivelul normat.

Tabel 6.1

Valori recomandate pentru proiectarea sistemelor de iluminat de siguranţă

Tipul iluminatului de siguranţă	Domenii de utilizare	Nivelul iluminării medii
pentru continuarea lucrului	- în locuri de muncă dotate cu receptoare care trebuie alimentate fără întrerupere şi în locuri de muncă legate de necesitatea funcţionării acestor receptoare (staţii de pompe pentru incendiu, încăperile surselor de rezervă, spaţiile serviciilor de pompieri, încăperile centralelor de semnalizare, dispecerate etc.)	20% din nivelul de iluminare normat pentru iluminatul normal
	- în încăperile blocului operator (săli de operaţie, sterilizare, de reanimare, de pregătire medici, de pregătire bolnavi, etc.)	80% din nivelul de iluminare normat pentru iluminatul normal
	- pe câmpul de operaţie	egal cu nivelul de iluminare pentru iluminatul normal
	- în încăperile construcţiilor de producţie şi/sau depozitare, laboratoare şi altele similare în care utilajele necesită o permanentă supraveghere	10% din nivelul de iluminare normat pentru iluminatul normal

[52] *Normativ pentru proiectarea şi executarea sistemelor de iluminat artificial din clădiri*.

Tipul iluminatului de siguranţă	Domenii de utilizare	Nivelul iluminării medii
pentru intervenţii	- în locurile în care sunt montate armături (de exemplu: vane, robinete, dispozitive de comandă control, etc.) ale unor instalaţii şi utilaje care trebuie acţionate în caz de avarie	iluminat local de minim 50 lx
	- în zonele cu elemente care la ieşirea din funcţiune a iluminatului normal, trebuie acţionate în vederea scoaterii din funcţiune a unor utilaje şi echipamente sau a reglării unor parametrii aferenţi, în scopul protejării utilajelor, echipamentelor sau persoanelor	
pentru evacuarea din clădire	- la ieşirile din încăperile cu aglomerări de persoane	iluminat local de minim 50 lx
	- pe căile de evacuare (culoare, holuri):	
	- în general	20% din nivelul de iluminare normat pentru iluminatul general
	- din spitale, policlinici, creşe, grădiniţe, case de bătrâni sau similare	50 lx
	- în casa scării	egal cu nivelul de iluminare pentru iluminatul normal
pentru circulaţie (în sălile şi spaţiile de producţie prevăzute de Normativul I 7)	- pe căile de circulaţie în interiorul sălilor de spectacol şi pe căile de circulaţie din încăperile de producţie din clădirile industriale şi similare	10% din nivelul de iluminare normat pentru iluminatul general, dar nu mai mic de 30 lx
împotriva panicii (în sălile şi spaţiile de producţie prevăzute de Normativul I 7)	- în sălile de spectacole, magazine, expoziţii sau similare	10% din nivelul de iluminare normat pentru iluminatul general, dar nu mai mic de 20 lx
pentru veghe	- pentru supravegherea în timpul nopţii a bolnavilor din spitale, pe pardoseală	2 lx
	- pentru supravegherea în timpul nopţii a bolnavilor din spitale, pe pat	5 lx
	- pentru supravegherea în timpul nopţii a copiilor din creşe, grădiniţe şi a sugarilor din spitale	20 lx

6.2. Sisteme de iluminat exterior

Sistemele de iluminat exterior sunt acele sisteme care se referă la spaţii largi, deschise, asigurând iluminarea necesară desfăşurării activităţilor umane în aceste spaţii (muncă, divertisment, circulaţie rutieră şi/sau pietonală etc.).

Sistemele de iluminat exterior se clasifică după mai multe criterii. Cea mai largă clasificare se referă la scopul realizării lor, cuprinzând:

– sisteme de iluminat exterior normale şi

– sisteme de iluminat exterior de siguranţă.

6.2.1. Sisteme de iluminat exterior normale

Sistemele de iluminat exterior normale sunt cele mai cuprinzătoare, având o arie de răspândire foarte mare. Acestea se clasifică la rândul lor după:

– distribuţia spaţială a fluxului luminos;

– destinaţia spaţiului unde se aplică.

După distribuţia spaţială a fluxului luminos emis, sistemele de iluminat exterior normale se subclasifică în:

– sisteme de iluminat direct;

– sisteme de iluminat semi-direct;

– sisteme de iluminat direct-indirect (mixt).

Sistemele de iluminat direct sunt cel mai frecvent utilizate, deoarece iluminarea cât mai uniformă a spaţiilor mari necesită aparate de iluminat amplasate la înălţimi mari (20-40 m), situaţie în care fasciculul luminos emis trebuie să fie concentrat într-un unghi solid cât mai mic, în consecinţă având caracteristicile unor proiectoare.

Dacă sistemul optic permite şi o emisie laterală de flux luminos, acesta are consecinţe negative, contribuind la poluarea luminoasă a marilor aglomerări umane. Această poluare luminoasă influenţează traseele zborurilor păsărilor.

Sistemul de iluminat direct se utilizează în iluminatul căilor de circulaţie rutieră (străzi, autostrăzi), în iluminatul spaţiilor mari destinate tranzitului (triaje, vămi), divertismentului (stadioane, patinoare), arii destinate activităţilor de muncă (depozite descoperite, porturi, aeroporturi).

Sisteme de iluminat semi-direct se caracterizează prin emisia fluxului luminos în emisfera inferioară în proporţie de 60-90%, având o componentă importantă a fluxului luminos emis şi în emisfera superioară.

Aceste sisteme de iluminat se utilizează pentru asigurarea iluminatului aleilor pietonale, aparatele de iluminat fiind amplasate pe stâlpi cu înălţimi de 3-5 m.

Sisteme de iluminat direct-indirect (mixt) se caracterizează printr-o emisie a fluxului luminos în proporţii aproximativ egale în cele două emisfere, fiind utilizate în sisteme de iluminat ornamental exterior. Aparatele de iluminat pot fi amplasate pe stâlpi cu înălţimi de 3-5 m sau pe clădiri.

Pasajele şi *tunelurile rutiere* sunt considerate ca şi spaţii de importanţă deosebită din punct de vedere lumino-tehnic, fiind tratate ca spaţii interioare care fac parte din căile rutiere exterioare. Sistemele de iluminat ale acestor pasaje sunt cele aplicate sistemelor de iluminat interior. Iluminatul pasajelor şi tunelurilor trebuie tratat cu mare atenţie, având în vedere problemele de adaptare ale ochiului de la lumina diurnă (zi însorită, zi noroasă, de vară, toamnă, iarnă sau primăvară, de seară, noapte) la lumina oferită de sistemul artificial de iluminat.

6.2.2. Sisteme de iluminat exterior de siguranţă

În spaţiile în care apar mari aglomerări de persoane (stadioane, patinoare, pieţe publice) este necesar un iluminat de siguranţă, pentru evacuare, care să marcheze căile de circulaţie şi ieşirile – similar cu cel existent la sălile interioare mari (teatre, săli de cinematograf, săli polivalente).

Pentru obiectivele care necesită pază trebuie prevăzut un sistem de iluminat de pază, alimentat cu energie electrică de la alte surse, în funcţie de importanţa obiectivului.

În tabelul 6.2[53] sunt prevăzute nivelurile de iluminare de siguranţă asigurat de instalaţiile de iluminat pentru pază (securitate).

Tabel 6.2

E [lx]	Caracteristicile zonei
1	Minim, în zone unde nu există iluminat adiacent.
5	Valoare medie, ce oferă facilităţi de orientare (corespunde cu nivelului iluminării străzilor secundare).
20	Recomandare pentru zone adiacente străzilor cu circulaţie; recunoaşterea figurii umane este posibilă; corespunde nivelului iluminării străzilor principale.

În cazul în care iluminatul de securitate este cuplat cu camere de luat vederi, nivelul iluminării variază pentru orizontală între 3 şi 20 lx, şi pentru verticală între 1,5 şi 10 lx.

[53] **Bianchi, C., ş.a.** *Sisteme de iluminat interior şi exterior*, Ed. Matrix Rom, Bucureşti, 2001.

Capitolul 7. CALITATEA ILUMINATULUI ARTIFICIAL

O instalaţie de iluminat artificial trebuie să asigure condiţii optime pentru ca activitatea de producţie sau alte activităţi să se poată desfăşura în mod normal. Având în vedere că cea mai largă clasificare a sistemelor de iluminat (prezentată în capitolul anterior) cuprinde sistemele de iluminat interior şi sistemele de iluminat exterior, în consecinţă şi criteriile de apreciere a calităţii iluminatului artificial au în vedere factori caracteristici fiecărui sistem, sau factori comuni celor două sisteme, cu interpretări diferite.

7.1. Calitatea iluminatului artificial asigurat de sisteme de iluminat interior

Aprecierea calităţii iluminatului artificial are în vedere două categorii de factori:

– lumino-tehnici (iluminare, luminanţă, uniformitate etc.);

– geometrici (dimensiunile spaţiului).

Factorii lumino-tehnici care, interacţionând, determină o anumită calitatea a sistemului de iluminat, sunt următorii:

- **nivelul de iluminare** pe planul de lucru;
- **uniformitatea iluminării** pe planul de lucru**;**
- **luminanţa aparatelor de iluminat** şi **uniformitatea luminanţei**;
- **contrastele de luminanţă** (direcţionarea corectă a luminii);
- **culoarea** şi **compoziţia spectrală** a luminii;
- **umbrele** şi **perceperea detaliilor**;
- **indicele de orbire**;
- **eficienţa energetică** a sistemului de iluminat.

7.1.1. Nivelul de iluminare

Nivelul de iluminare pe planul de lucru este condiţionat de mărimea obiectelor ce trebuie observate, de viteza şi gradul de precizie cu care

trebuie observate detaliile (sarcina vizuală), de contrastul de luminanţă între obiecte şi fond. Valorile minime ale nivelului de iluminare pentru diferite locuri de iluminare sunt indicate în literatura de specialitate.

Aceste valori nu sunt aceleaşi pentru toate ţările europene, nici chiar pentru cele care fac parte din Uniunea Europeană. Chiar şi Ghidul de iluminat interior al CIE 29.2 din 1986 a fost modificat prin norma CIE 008/E din 2001, acesta recomandând valorile din tabelul 7.1.

Această normă recomandă următoarele trepte pentru iluminat, în lucşi: 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 500, 750, 1.000, 1.500, 2.000, 3.000 şi 5.000.

Tabel 7.1

Niveluri de iluminare [lx]			Tip de activitate/ sarcină vizuală	Exemple de destinaţii
A	B	C		
20	30	50	Zone destinate circulaţiei,depozitării	Coridoare secundare, uscătorii în industrie*
50	100	150	Zone pentru circulaţie, orientare simplă sau cu vizite temporare	Coridoare, holuri, depozite, magazii
100	150	200	Încăperi în care activitatea de muncă nu este continuă	Holuri principale, scări, scări rulante
200	300	500	Sarcini vizuale simple	Săli de teatru, concert, cantine, sala maşinilor din industrie, iluminat general în fabrică
300	500	750	Sarcini vizuale medii	Săli de gimnastică, săli de clasă, pe rafturile bibliotecilor, spaţii pentru asamblare
500	750	1000	Sarcini vizuale impuse	Birouri (scris, citit, cu tehnică de calcul), laboratoare (unde se fac măsurări precise)
750	1000	1500	Sarcini vizuale dificile	Asamblare fină (mecanică, electronică), săli pentru cusut, tricotat, control final
1000	1500	2000	Sarcini vizuale speciale	Lucru de precizie (electronică), controlul culorilor, atelier confecţionat bijuterii
peste 2000			Sarcini vizuale foarte exacte şi unde se cer performanţe mari	Ringuri de box, masă pentru operaţii medicale

**Unde nu este necesară identificarea culorilor.*

Norma CIE 008/E-2001 este preluată de normativul românesc NP 061-02, denumit Normativ pentru proiectarea şi executarea sistemelor de iluminat artificial din clădiri.

În cazul nivelelor de iluminare scăzute şi a timpilor de utilizare reduşi se recomandă iluminatul cu lămpi având temperatura de culoare scăzută, iar pentru nivele de iluminare ridicate şi timpi de utilizare mari este recomandabil iluminatul cu lămpi fluorescente, lămpi care au temperatura de culoare mai ridicată.

În Anexa 4 sunt prezentate în detaliu nivelurile de iluminare pentru următoarele categorii: arii comune ale cădirilor, clădiri pentru agricultură, brutării, industria cimentului, industria ceramică şi a sticlei, industria chimică, plastică şi a cauciucului, industria electrotehnică şi electronică, industria alimentară, turnătorii, saloane de coafură, producţia de bijuterii, spălătorii şi curăţătorii chimice, industria pielăriei, industria metalurgică, industria hârtiei, centrale de producere a energiei, tipografii, industria metalurgică şi siderurgică, industria textilă, industria construcţiilor de maşini, industria lemnului şi a mobilei, birouri, spaţii comerciale, restaurante şi hoteluri, spaţii de divertisment şi muzee, biblioteci, parcări interioare, instituţii de învăţământ, spitale şi clinici, aeroporturi, biserici.

În tabelul 7.1 sunt indicate trei niveluri de iluminare pentru acelaşi tip de activitate, notate cu literele A, B, C.

Valoarea cea mai mică A trebuie utilizată dacă:

– coeficienţii de reflexie şi contrastele sunt foarte mari;

– viteza şi/sau acurateţea sunt neimportante;

– dimensiunile sarcinii vizuale sunt foarte mare;

– activitatea specificată se execută ocazional.

Valoarea mijlocie B trebuie utilizată în cazurile obişnuite, fiind cea recomandată în calculele de proiectare care nu cuprind excepţii.

Valoarea cea mai mare C trebuie utilizată dacă:

– sarcina vizuală prezintă coeficienţi de reflexie scăzuţi sau contraste reduse;

– capacitatea vizuală a lucrătorului este sub nivelul normal;

– corectarea erorilor care apar în activitatea desfăşurată este costisitoare;

– productivitatea muncii sau acurateţea activităţii au importanţă deosebită;

– activitatea vizuală este foarte importantă.

Valorile indicate în Anexa 4 corespund literei B din tabelul 7.1. Ele pot fi mărite cu o treaptă, ajungând la valorile corespunzătoare literei C, în condiţiile precizate mai sus.

Valorile indicate în Anexa 4 ce corespund literei B din tabelul 7.1 pot fi scăzute cu o treaptă, ajungând la valorile corespunzătoare literei A, în condiţiile precizate mai sus.

În zonele învecinate nivelul de iluminare trebuie să fie în concordanţă cu nivelul de iluminare din zona sarcinii vizuale şi trebuie să asigure o distribuţie corespunzătoare a luminanţelor în câmpul vizual.

Nivelul de iluminare recomandat pentru zonele învecinate nu poate fi mai mic decât cel cuprins în tabelul 7.2.

Tabel 7.2

Nivelul de iluminare în zona sarcinii vizuale [lx]	≥750	500	300	≤200
Nivelul de iluminare în zona învecinată cu zona sarcinii vizuale [lx]	500	300	200	identică cu cea a zonei sarcinii vizuale

Nivelurile de iluminare care trebuie să fie asigurate de sistemele de iluminat de siguranţă sunt date în tabelul 6.1.

În calculele de proiectare a sistemelor de iluminat interior şi de siguranţă este recomandat a se ţine cont de valorile cuprinse în normativele de proiectare, valabile la data întocmirii proiectului.

7.1.2. Uniformitatea iluminării

Pentru evitarea obosirii ochiului prin supunerea sa repetată la eforturi de adaptare – de la un nivel de iluminare la altul – trebuie asigurată o iluminare cât mai uniformă pe planul de lucru. Uniformitatea iluminării se exprimă prin doi coeficienţi de uniformitate:

– **minim-mediu** (E_{min}/E_{med}), pentru suprafaţa planului util;

– **minim-maxim** (E_{min}/E_{max}), pentru suprafaţa efectivă de lucru (zona sarcinii vizuale).

Coeficienţii E_{min}, E_{med} şi E_{max} sunt iluminările minimă, medie respectiv maximă de pe suprafaţa planului util. Valorile acestor coeficienţi sunt date în literatură[54], fiind cuprinse şi în tabelul 7.3.

Tabel 7.3

Destinaţia spaţiului	Spaţii industriale	Spaţii neindustriale
Coeficientul de uniformitate pe planul util (E_{min}/E_{med})	0,7	0,8
Coeficientul de uniformitate pe planul efectiv de lucru (zona sarcinii vizuale) (E_{min}/E_{max})	0,5	0,8

[54] *Normativ pentru proiectarea şi executarea sistemelor de iluminat artificial din clădiri*, Indicativ: NP 061-02.

Uniformitatea iluminării (uniformitatea generală a iluminării conf. SR 13433) este

$$u_0(E) = \frac{E_{\min}}{E_{\text{med}}}. \qquad (7.1)$$

În figura 7.1 sunt reprezentate curbele izolux pentru o încăpere cu dimensiunile de 10×6 m, pe tavanul căreia sunt dispuse 8 aparate de iluminat tip FIRA 03-4 18 SP, fabricate de către ELBA SA Timişoara, cu câte patru tuburi fluorescente de 18 W, având o putere totală de 576 W (exclusiv balasturile).

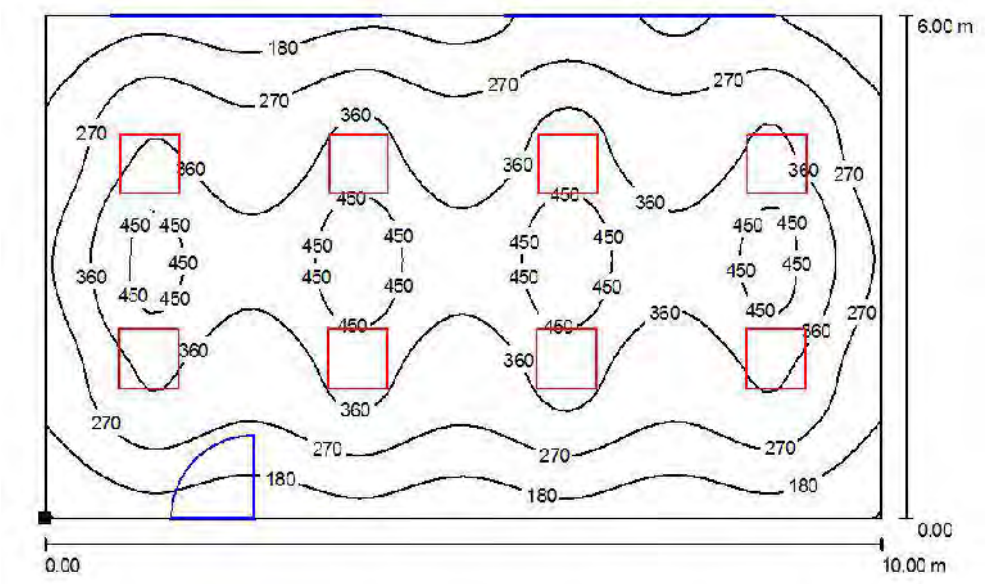


Fig. 7. 1 Curbe izolux (iluminare constantă).

Se observă că iluminarea în zona de lucru este mai mare decât iluminarea prescrisă (300 lx), dar uniformitatea iluminării este departe de recomandările CIE. Astfel, $E_{\min}$=89 lx, $E_{\max}$=503 lx, E_{med}=307 lx, u_o(E)=0,288, iar $E_{\min}/E_{\max}$=0,176.

Deci, un proiect cu asemenea rezultate nu este acceptabil, fiind necesară îmbunătăţirea lui, până la încadrarea în normele referitoare la uniformitatea iluminării. În acest sens, este necesară optimizarea proiectului prin:

– alegerea altor tipuri de surse, respectiv alte AIL;
– utilizarea unui sistem de iluminat semi-direct;
– amplasarea AIL pe tavan pe mai multe rânduri şi coloane;
– creşterea coeficienţilor de reflexie ai tavanului şi pereţilor.

7.1.3. Luminanţa aparatelor de iluminat şi uniformitatea luminanţei

Luminanţa aparatelor de iluminat este mărimea ce influenţează direct ochiul omenesc, fiind factorul de calitate cel mai important al unei instalaţii de iluminat.

Instalaţia de iluminat interior trebuie să asigure un confort al ambientului luminos, ceea ce presupune o distribuţie echilibrată a luminanţelor, pentru a se evita orbirea fiziologică (directă sau de incapacitate) şi orbirea psihologică (de inconfort).

Distribuţia echilibrată a luminanţelor în câmpul vizual este necesară pentru a mări:

– acuitatea vizuală (precizia şi claritatea vederii);

– sensibilitatea la contrast (deosebirea diferenţelor relativ mici de luminanţe);

– eficienţa funcţiilor oculare (acomodarea, convergenţa pupilei, mişcările ochiului).

Luminanţele suprafeţelor din încăpere sunt determinate de iluminări şi de coeficienţii de reflecţie ale acestora. Pentru a realiza distribuţii echilibrate ale luminanţelor se recomandă pentru suprafeţele încăperilor valorile coeficienţilor de reflexie cuprinse în tabelul 7.4.

Tabel 7.4

	uzual	recomandat
plafon	0,6÷0,9	0,9
pereţi	0,3÷0,8	0,7÷0,8
plan util	0,2÷0,6	0,4÷0,6
pardoseală	0,1÷0,5	0,3÷0,5

Ochiul uman are capacitatea de a se adapta la luminanţe din câmpul vizual, de la valori de ordinul 10^{-6} cd/m^2, la valori de ordinul 10^5 cd/m^2. Adaptarea repetată între asemenea valori extreme poate cauza însă oboseală.

Dacă luminanţa obiectelor aflate în câmpul vizual depăşeşte anumite valori pot avea loc fenomene de orbire. Pentru a se evita asemenea fenomene corpurile de iluminat trebuie să fie prevăzute cu dispozitive de protecţie (elemente difuzante), care să limiteze luminanţa acestora la valorile următoare:

– 3.000÷5.000 nt pentru corpurile de iluminat interior general;

– 1.000÷2.000 nt pentru corpurile de iluminat interior local;

– 5.000÷15.000 nt pentru corpurile de iluminat exterior.

Uniformitatea luminanţei (uniformitatea generală a luminanţei conf. SR 13433) este

$$u_0(L) = \frac{L_{\min}}{L_{\text{med}}}. \qquad (7.2)$$

Uniformitatea luminanţelor poate fi exprimată şi prin curbele izocandelă pe o anumită suprafaţă, cum se observă în figura 7.2. Aceste curbe reprezintă linii curbe corespunzătoare aceluiaşi nivel de luminanţă (strălucire). Diferenţa între diferitele nivele ale luminanţelor corespunzătoare curbelor învecinate este o măsură a uniformităţii luminanţei.

În figura 7.2 sunt reprezentate izoliniile pentru o încăpere cu dimensiunile de 10×6 m, pe tavanul căreia sunt dispuse 8 aparate de iluminat tip FIRA 03-4 18 SP, fabricate de ELBA SA Timişoara, cu câte patru tuburi fluorescente de 18 W, având o putere totală de 640 W (inclusiv balasturile).

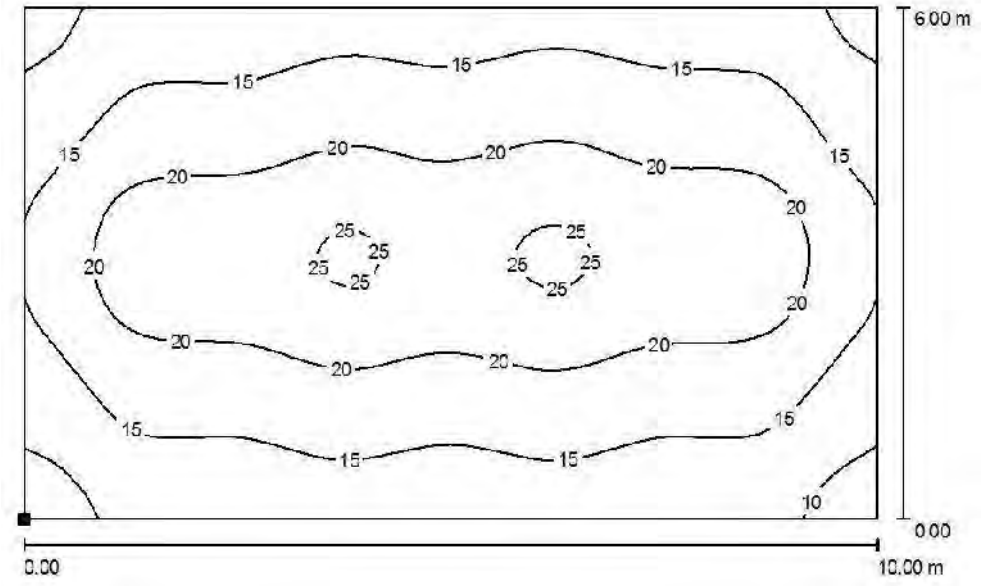


Fig. 7. 2 Curbe izocandelă (luminanţă constantă).

Din figura 7.2 se observă că luminanţa în planul de lucru variază între limite relativ mici, dar – având în vedere că $L_{\min}$=8 cd/m^2, $L_{\max}$=26 cd/m^2, L_{med}=17 cd/m^2 (valori rezultate din proiect) – uniformitatea generală a luminanţei este $u_0(L)$ este 0,47, iar $L_{\min}/L_{\max}$ este 0,30. În încăpere s-au măsurat suplimentar $L_{\text{sursă}}$=5.200 cd/m^2 – pentru γ=0, $L_{\text{sursă}}$=2.640 cd/m^2 – pentru γ=45˚.

7.1.4. Contrastele de luminanţă

Contrastele de luminanţă influenţează perceperea normală a detaliilor şi pot determina fenomenul de orbire, când acestea au valori prea mari.

Pentru evitarea sau reducerea fenomenului de orbire provocat de contrastul luminanţelor obiectelor din câmpul vizual, se recomandă respectarea următoarelor raporturi:

– între luminanţa obiectului observat şi cea a câmpului vizual din imediata sa vecinătate: 3/1;

– între luminanţa obiectului observat şi cea a câmpului vizual înconjurător: 10/1;

– între luminanţa sursei de lumină şi cea a suprafeţelor învecinate: 20/1;

– între luminanţele a oricăror două obiecte din câmpul vizual: 40/1.

Pentru a realiza confort vizual este necesar să se evite:

– luminanţe prea ridicate, care pot duce la apariţia orbirii;

– contraste prea mari de luminanţe, ce pot duce la oboseală vizuală, datorită necesităţii adaptării şi readaptării permanente a ochiului;

– luminanţele sau contrastele de luminanţe prea mici, care au ca rezultat nedistingerea corectă a sarcinii vizuale sau a detaliilor acesteia.

7.1.5. Culoarea şi componenţa spectrală a luminii

Efectul fiziologic şi psihologic al iluminatului depinde de compoziţia spectrală a luminii, care influenţează contrastul dintre **detaliu** şi **fond** şi de asemenea **redarea culorilor**.

Iluminatul artificial trebuie să asigure o culoare corespunzătoare locului şi activităţii desfăşurate. În încăperile în care nu pătrunde lumina naturală şi deformarea culorilor nu deranjează pot fi folosite lămpi fluorescente cu o temperatură de culoare scăzută, care creează o ambianţă caldă, odihnitoare (lămpile cu incandescenţă – care erau recomandate pentru asemenea situaţii – sunt scoase din uz datorită eficacităţii luminoase foarte scăzute).

Culorile caracterizate printr-o temperatură de culoare mai coborâtă se numesc – din considerente psihologice – **culori calde**. Ele se utilizează în cazul unor nivele de iluminare mai scăzute. Dacă lumina artificială completează sau înlocuieşte periodic lumina naturală şi nu este permisă deformarea culorilor se folosesc lămpi fluorescente „lumina zilei“ („daylight”), care au o temperatură de culoare mai înaltă.

Culorile caracterizate prin temperaturi de culoare mai înalte, denumite – din considerente psihologice – **culori reci**, sunt utilizate pentru nivele de iluminare mai ridicate.

Corelaţia între temperatura de culoare şi nivelul de iluminare, impusă de necesitatea realizării confortului vizual, este exprimată în **diagrama de confort vizual a lui Kruithof** (*Fig. 7.3*). Pe diagramă sunt trasate drepte de abscisă constantă corespunzătoare temperaturilor de culoare ale lămpilor fluorescente, pe care sunt trecute simbolurile culorilor

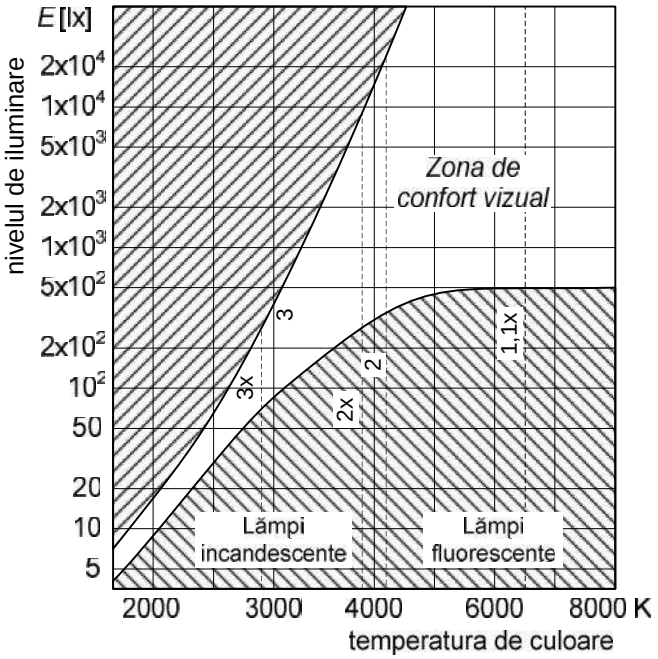


Fig. 7. 3 Diagrama de confort vizual (Kruithof).

cuprinse în tabelul 7.5[55]. Aceste simboluri pentru culoare sunt folosite de producătorii de lămpi fluorescente din România (S.C. Romlux SA).

Tabel 7.5

Denumirea culorii	Temperatura de culoare [K]	Simbolul culorii
Alb lumina zilei	6.500	1
Alb lumina zilei corectat	6.500	1x
Alb	4.300	2
Alb superior (de lux)	3.800	2x
Alb cald	3.000	3
Alb cald superior (de lux)	2.900	3x

Există păreri că diagrama Kruithof nu ar reda o corelaţie corectă între nivelul de iluminare şi temperatura de culoare, însă în tabelul 7.6 sunt indicate tocmai culorile aparente (temperatura de culoare) pentru diverse iluminări.

Cu cât iluminarea are valori mai ridicate, cu atât mai confortabil ne

[55] **Comşa, D. ş.a.** *Proiectarea instalaţiilor electrice industriale*, Ed. Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1983.

simţim la temperaturi de culoare mai „reci”[56].

Tabel 7.6

Iluminarea [lx]	Culoarea sursei de lumină		
	caldă	neutră	rece
	Răspunsul psihologic		
<500	**plăcut**	neutru	rece
500…1.000			
1.000…2.000	stimulant	**plăcut**	neutru
2.000…3.000			
>3.000	nenatural	stimulativ	**plăcut**

7.1.6. Umbrele şi perceperea detaliilor

Direcţia de incidenţă a luminii asupra obiectului observat depinde de sistemul de iluminat ales. Un obiect iluminat dintr-o singură direcţie va prezenta umbre puternice, marginile vor fi bine conturate, ceea ce asigură o uşoară percepere a sa. În acest caz, contrastele de luminanţă vor fi mari şi pot deranja. Obiectul luminat din mai multe direcţii va avea umbre mai slabe, contrastele de luminanţă vor fi mai reduse, ceea ce asigură o ambianţă plăcută, odihnitoare.

Pentru realizarea unei ambianţe plăcute sunt necesare unele condiţii, dintre care enumerăm:

- armonizarea culorii suprafeţelor reflectante cu culoarea aparentă (temperatura de culoare) a sursei de lumină;
- culoarea suprafeţelor reflectante să deţină un rol funcţional în încăperile de lucru, respectiv unul estetic în cele de recreare, odihnă, divertisment;
- folosirea de culori cu coeficient de reflexie mari pentru pereţi şi plafon ($p \geq 0{,}5$, respectiv $p \geq 0{,}7$), ceea ce conduce la realizarea echilibrului ambiental al luminanţelor.

7.1.7. Indicele de orbire

Orbirea determinată de sistemele de iluminat artificial conduce la obosirea ochiului şi, în final, la boli profesionale. De aceea, evaluarea orbirii este de mare importanţă în aprecierea calităţii unui sistem de iluminat.

Orbirea poate fi **fiziologică** (directă) – care poate determina erori de muncă sau accidente, şi/sau **psihologică** (de inconfort) – care creează o stare psihică neplăcută şi astfel poate genera stres.

De-a lungul vremii s-au folosit diverse metode de evaluare a gradului

[56] http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/clear/visual/people/ambience/colour/index.html.

de orbire. Prima realizare pe plan internaţional s-a concretizat prin trasarea unor curbe de luminanţă în funcţie de unghiul de protecţie γ, distanţa subiectului faţă de proiecţia sursei în plan orizontal *a*, înălţimea sursei faţă de ochiul observatorului h_s – *Fig. 7.4*, nivelul de iluminare şi clasa de calitate a aparatului de iluminat (A, B, C, D, E).

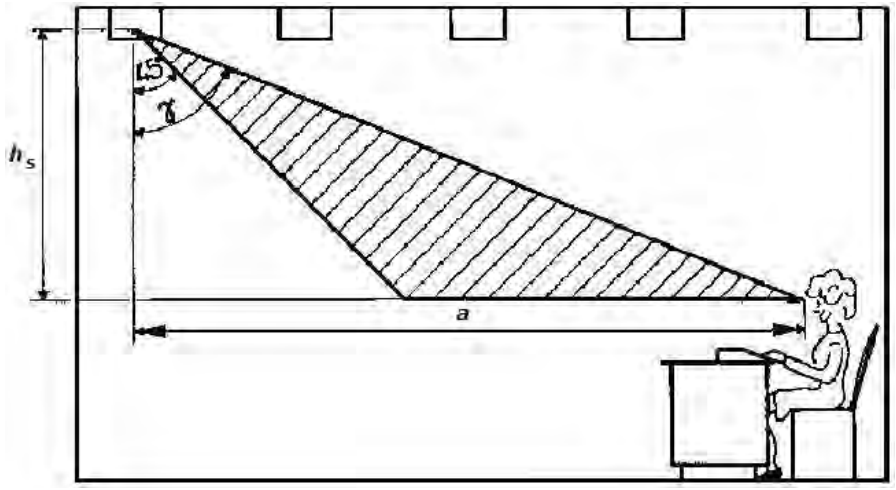


Fig. 7. 4 Influenţa unghiului de protecţie γ asupra orbirii directe.

În baza cercetărilor efectuate s-au determinat indicele de orbire *G*, determinat empiric şi clasa de calitate a sistemului de iluminat – *Tabel 7.7*.

Tabel 7.7

Indicele de orbire *G*	Clasa de calitate a AIL
1,15	A – foarte înaltă calitate
1,50	B – înaltă calitate
1,85	C – calitate medie
2,20	D – calitate scăzută
2,55	E – calitate foarte scăzută

Curbele de luminanţă corespunzătoare unui aparat de iluminat trebuie să fie situate în stânga curbei de luminanţă limită pentru clasa considerată – *Fig. 7.5*.

În figura 7.5 sunt reprezentate curbele de luminanţă pentru diferite iluminări şi clase de calitate, şi curba aparatului de iluminat. Pentru clasa de calitate B şi pentru iluminarea de 500 lucşi este trasată curba de luminanţă **d**. Faţă de această curba partea din stânga reprezintă zona de luminanţe admise, iar partea din dreapta (cu gri în figură) reprezintă zona de luminanţe nepermise. Se observă că pentru aparatul de iluminat considerat curba de luminanţe se află în zona permisă. După metoda UGR curba **d** corespunde gradului de orbire 19.

G	Clasa	Iluminarea [lx]							
1,15	A	2000	1000	500	≤300				
1,50	B		2000	1000	500	≤300			
1,85	C			2000	1000	500	≤300		
2,20	D				2000	1000	500	≤300	
2,55	E					2000	1000	500	≤300

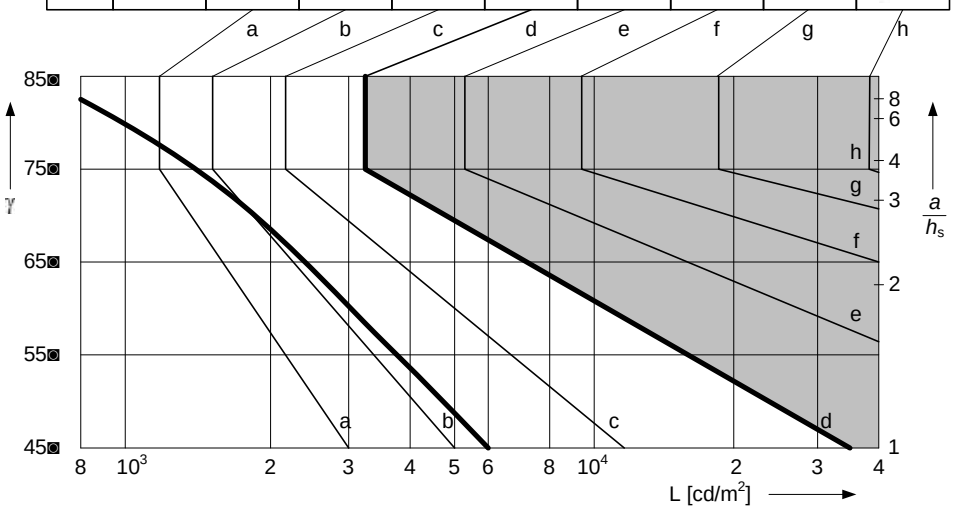


Fig. 7. 5 Curbe de luminanţă limită pentru evitarea orbirii directe.

Când nu se cunoaşte curba de luminanţă a aparatului de iluminat utilizarea metodei prezentate se face astfel:

- se determină clasa de calitate şi nivelul de iluminare;
- se selectează curba corespunzătoare clasei şi nivelului (curba **d** în figura 7.5);
- se determină unghiul γ_m cu relaţia $\gamma_m = \text{arctg}\dfrac{a}{h_s}$, pentru unghiul de protecţie maxim;
- se calculează luminanţa L_{γ_m} cu relaţia $L_{\gamma_m} = \dfrac{I_{\gamma_m}}{S \cdot \cos\gamma_m}$, unde I_{γ_m} este intensitatea luminoasă după direcţia dată de unghiul de protecţie maxim, iar *S* este suprafaţa luminoasă a AIL;

Punctul de coordonate L_{γ_m}, γ_m trebuie să se situeze în stânga curbei selectate.

Deoarece metoda prezentată mai sus are în vedere determinări experimentale (având ca criteriu satisfacerea a 50% dintre observatori) şi datele nu pot fi utilizate în proiectarea computerizată a SIL, CIE a elaborat o

nouă metodă, denumită UGR (**U**nified **G**lare **R**ating System – sistemul unificat de evaluare a orbirii). Această metodă foloseşte pentru evaluarea gradului de orbire o formulă de calcul:

$$UGR = 8 \lg \frac{0{,}25}{L_b} \sum \frac{L^2 \cdot \omega}{P^2}, \qquad (7.3)$$

în care L_b este luminanţa fondului, L este luminanţa părţilor luminoase ale fiecărui aparat de iluminat în direcţia ochiului observatorului, ω – unghiul solid sub care se vede suprafaţa luminoasă a aparatului de iluminat [steradiani], iar p este un indice de poziţie (numit indice Guth, şi care dă informaţii despre poziţia AIL faţă de linia vederii) pentru fiecare aparat de iluminat în parte.

În tabelul 7.8 este prezentată echivalenţa între indicele de orbire după metoda europeană a curbelor de luminanţă *G*, indicele global de orbire UGR şi clasele de calitate.

Tabel 7.8

Clasa de calitate	A	B	C	D	E
Indicele de orbire *G*	1,15	1,50	1,85	2,20	2,55
Indicele global de orbire UGR	16–19	19–22	22–25	25–28	>28

Utilizarea indicelui global de orbire UGR are avantajul că acesta poate fi inclus în aplicaţii software pentru proiectarea sistemelor de iluminat.

7.1.8. Eficienţa energetică a sistemului de iluminat

Orice proiect pentru un sistem de iluminat trebuie să se încheie cu un calcul de eficienţă energetică a acestuia.

O anumită iluminare în planul de lucru, cu o uniformitate convenabilă, poate fi obţinută în mai multe variante de amplasare a aparatelor de iluminat în încăpere. Costul instalaţiei de iluminat are trei componente:

– costul aparatelor de iluminat;

– costul surselor şi elementelor auxiliare;

– costul energiei electrice consumate pe durata de funcţionare a aparatelor de iluminat, a surselor şi a elementelor auxiliare.

E recomandabil să se aleagă varianta care conduce la cel mai redus cost ale instalaţiei de iluminat.

7.2. Calitatea iluminatului artificial asigurat de sisteme de iluminat exterior

O instalaţie de iluminat artificial pentru exterior trebuie să asigure iluminarea necesară pentru desfăşurarea diferitelor activităţi în spaţii libere mari (depozite, triaje, terenuri de sport etc.) sau luminanţa necesară în cazul iluminării străzilor şi autostrăzilor.

Aprecierea calităţii iluminatului artificial exterior are în vedere factorii lumino-tehnici amintiţi în § 7.1, dar importanţa lor are pondere diferită, în funcţie de tipul activităţii. Faţă de aceşti factori – care determină calitatea iluminatului interior – la aprecierea calităţii instalaţiilor de iluminat exterior se mai utilizează şi alţi factori, în funcţie de tipul activităţii.

Spre exemplificare, în aprecierea **calităţii instalaţiilor de iluminat a căilor rutiere**, se utilizează suplimentar factorii următori:

- **uniformitatea generală a luminanţei**;
- **uniformitatea longitudinală a luminanţei**;
- **indicele de prag TI**, care reprezintă creşterea pragului percepţiei vizuale;
- **raportul de zonă alăturată SR**;

7.2.1. Uniformitatea generală a luminanţei

Uniformitatea generală a luminanţei în iluminarea străzilor şi autostrăzilor se calculează cu relaţia *(7.2)*, în care L_{med} se referă la întreaga suprafaţă (zonă) de calcul – *Fig. 7.6*.

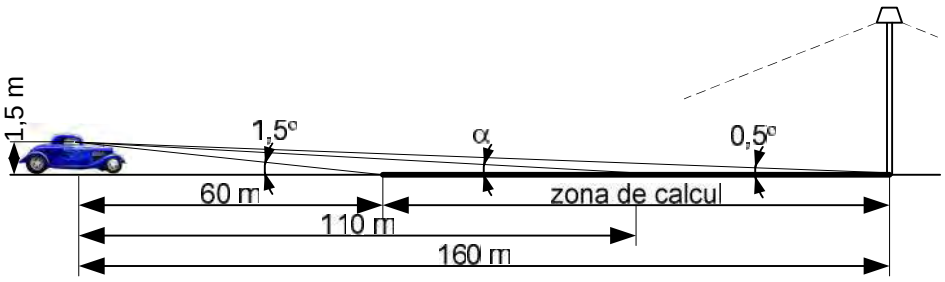


Fig. 7. 6 Poziţia observatorului faţă de suprafaţa privită (zona de calcul) a căii de circulaţie.

Curbele izocandelă pe zona de calcul arată ca în figura 7.7, curbe din care se observă că diferenţele între valorile extreme nu sunt mari.

Pentru curbele din figura 7.7 luminanţa medie este 1,7 cd/m^2. Standardul SR 13433 (intitulat „Iluminatul căilor de circulaţie") prevede pentru clasa sistemului de iluminat M2 valoarea de 1,5 cd/m^2 (valorile luminanţei medii minime sunt cuprinse între 0,5 şi 2 cd/m^2, în funcţie de clasa sistemului de iluminat).

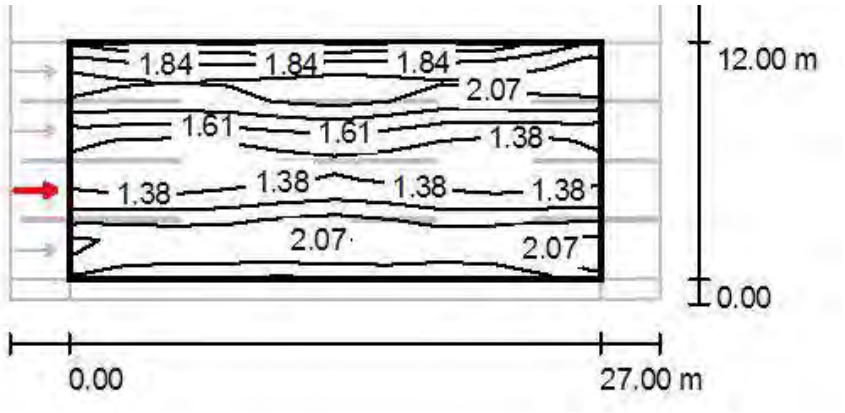


Fig. 7. 7 Curbe izocandelă (luminanţă constantă).

Pentru exemplul prezentat în figura 7.7, uniformitatea globală a luminanţei este de 0,9. Valoarea uniformităţii globale minime prevăzută în standardul amintit este 0,4.

7.2.2. Uniformitatea longitudinală a luminanţei

Uniformitatea longitudinală a luminanţei $u_1(L)$ este definită ca raportul între luminanţa minimă $L_{\min_{ax}}$ şi luminanţa maximă $L_{\max_{ax}}$, ambele fiind considerate pe axul benzii de circulaţie a zonei de calcul, în sensul desfăşurării traficului rutier:

$$u_1(L) = \frac{L_{\min_{ax}}}{L_{\text{med}_{ax}}}. \qquad (7.4)$$

Standardul amintit prevede valori minime pentru uniformitatea longitudinală a luminanţei cuprinse între 0,5 şi 0,7. Pentru exemplul prezentat în figura 7.8, uniformitatea longitudinală a luminanţei este de 0,9.

7.2.3. Indicele de prag TI

Indicele de prag TI [%] caracterizează **aprecierea orbirii** provocată de luminanţa surselor de lumină aflate în câmpul vizual, în raport cu luminanţa medie a căii de circulaţie. Indicele de prag pentru o cale de circulaţie se calculează cu relaţia

$$\text{TI} = 65\frac{L_{\text{voal}}}{L_{\text{med}}^{0,8}}\,[\%]. \qquad (7.5)$$

În relaţia *(7.5)* L_{med} este luminanţa medie pe suprafaţa de calcul, iar L_{voal} este luminanţa de voal, determinată cu următoarea relaţie empirică:

$$L_{\text{voal}} = k \cdot \sum_{i=1}^{n} \frac{E_{\text{i}}}{\theta_{\text{i}}^{\,2}}, \qquad (7.6)$$

în care *k* este un coeficient care ţine seama de vârsta observatorului (de regulă, *k* =10), *n* este numărul surselor perturbatoare aflate în câmpul vizual de 20º deasupra axei privirii conducătorului auto – *Fig. 7.8*, E_{i} este iluminarea pe retina ochiului, în plan vertical pe axa privirii, dată de sursa perturbatoare S_{i} din câmpul vizual, θ_{i} – unghiul format de direcţia privirii conducătorului auto cu direcţia sub care se vede sursa perturbatoare S_{i}.

Pentru tuneluri sau pasaje subterane rutiere, indicele de prag se determină cu relaţia *(7.5)* – dacă luminanţa $L<5$ cd/m^2, sau cu relaţia *(7.7)* – dacă luminanţa $L\geq 5$ cd/m^2:

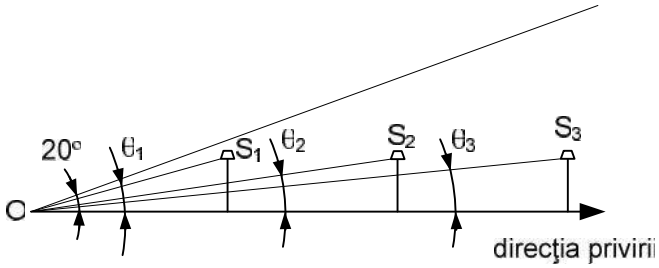


Fig. 7. 8 Elementele pentru calculul luminanţei de voal pe retina observatorului O.

$$\text{TI} = 95 \frac{L_{\text{voal}}}{L_{\text{med}}^{\,1,05}} \,[\%]. \qquad (7.7)$$

7.2.4. Raportul de zonă alăturată SR

În circulaţia rutieră se disting: sensurile de circulaţia şi suprafeţele din imediată vecinătate a căilor de rulare. Modul în care este iluminată zona alăturată influenţează retina ochiului observatorului, motiv pentru care standardul SR 14133 prevede valori minime pentru iluminarea acestei zone (0,5 – adică iluminarea medie a zonei alăturate trebuie să aibă valoarea minimă cel puţin egală cu jumătate din valoarea medie a zonei de interes).

Zona alăturată este definită ca suprafaţa din vecinătatea imediată a căii de circulaţie, aflată în câmpul vizual al observatorului.

Raportul între **iluminarea medie de pe o porţiune de 5 m lăţime** sau mai puţin, dacă spaţiul nu o permite, de o parte şi de alta a sensurilor de circulaţie, şi **iluminarea medie a căii de circulaţie** de pe o lăţime de 5 m sau jumătate din lăţimea fiecărui sens de circulaţie, dacă aceasta este mai mică de 5 m.

Nivelul iluminării şi uniformitatea iluminării nu este neglijată nici în aprecierea calităţii sistemelor de iluminat al străzilor şi autostrăzilor, standardele europene[57] impunând valori minime pentru diferite clase ale sistemelor de iluminat, respectiv categorii ale căilor rutiere şi intersecţiilor.

Valorile iluminării medii minime din Tabelul 7.9 coincid cu cele prevăzute de standardul românesc SR 13433-1999.

Tabel 7.9

Clasa căii de circulaţie	Categoria zonei de risc	Valori minime ale iluminării orizontale	
		Iluminare medie E_{med} [lx]	Uniformitatea iluminării $u_0(E)$
ME1	CE0	50	0,4
ME2	CE1	30	0,4
ME3	CE2	20	0,4
ME4	CE3	15	0,4
ME5	CE4	10	0,4
ME6	CE5	7,5	0,4

Spre exemplificare, o stradă încadrată în clasa ME3, având patru benzi de circulaţie are curbele izolux prezentate în figura 7.9, având E_{min}=15 lx, E_{max}=27 lx, E_{med}=20 lx, iar E_{min}/E_{max}=0,555. Se observă că valorile se încadrează în valorile stabilite pentru clasa ME3. Nivelul uniformităţii iluminării este $u_0(E)$=0,707.

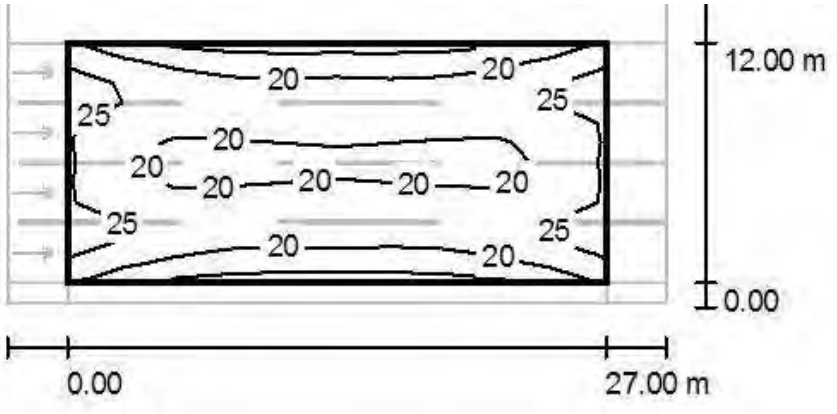


Fig. 7. 9 Curbe izolux (iluminare constantă).

Pentru calculul de proiectare şi pentru aprecierea calităţii sistemelor de iluminat care se referă la suprafeţe de muncă şi de depozitare, triaje, terenuri de sport etc., se porneşte de la nivelul de iluminare şi uniformitatea iluminării.

[57] BS EN 13201-2:2003.

Capitolul 8. CALCULUL FOTOMETRIC AL SISTEMELOR DE ILUMINAT

8.1. Calculul sistemelor de iluminat interior

8.1.1. Datele iniţiale pentru proiectare

Metodele de calcul ale sistemelor de iluminat interior au ca scop realizarea unui iluminat artificial confortabil, funcţional şi estetic, în concordanţă cu activitatea ce urmează a fi desfăşurată în spaţiul respectiv.

Pentru proiectarea unei instalaţii de iluminat interior trebuie cunoscute următoarele date:

- dimensiunile spaţiului de iluminat;
- înălţimea planului de lucru;
- proprietăţile fotometrice ale pereţilor şi ale tavanului, în scopul aprecierii coeficienţilor de reflexie;
- amplasarea locurilor de muncă;
- felul activităţii ce urmează a se desfăşura şi precizia lucrărilor ce se vor executa;
- tensiunea de alimentare a instalaţiei.

Pe baza acestor date se stabilesc:

- iluminarea pe planul de lucru,
- sistemul de iluminat şi sursele de lumină,
- aparatele de iluminat,
- amplasarea aparatelor de iluminat,
- numărul surselor de iluminat.

În final, se verifică calitativ şi cantitativ realizarea corespunzătoare a iluminatului, prin factorii precizaţi în § 7.1 Calitatea iluminatului artificial asigurat de sisteme de iluminat interior.

Iluminarea pe planul de lucru se ia din normative, având în vedere domeniul de activitate, felul activităţii ce urmează a se desfăşura, gradul de precizie al lucrărilor, contrastul dintre fond şi detalii. Se va avea în vedere şi tipul de iluminat: local, general sau combinat – a se vedea Anexa 4 – (Anexa 2 din NP 061-02) Valori recomandate pentru proiectarea sistemelor de iluminat general.

Sursele de lumină şi **sistemul de iluminat** se aleg în funcţie de nivelul de iluminare necesar, de destinaţia încăperii, de eficienţa instalaţiei de iluminat, de diagrama de confort vizual, curbele fotometrice ale aparatului de iluminat echipat cu surse de iluminat (care influenţează uniformitatea iluminării), precum şi de valoarea economică a instalaţiei de iluminat.

În majoritatea cazurilor, se foloseşte sistemul de **iluminat general**, care se apropie mai mult de iluminatul natural, permiţând urmărirea activităţii pe întreg spaţiul iluminat. Pentru iluminări nu prea ridicate acesta este sistemul cel mai economic.

În cazul în care – pentru anumite lucrări – se cere un nivel de iluminare mai ridicat se foloseşte sistemul de iluminat general combinat cu sistemul de iluminat local – sistemul de **iluminat combinat**, ceea ce permite realizarea unei iluminări de valoare mare numai acolo unde activitatea depusă impune acest lucru.

Atunci când se impune asigurarea iluminării doar a unei suprafeţe reduse este de preferat a se folosi **iluminatul local**. Acesta presupune amplasarea corpurilor de iluminat în imediata apropiere a locului de muncă, realizându-se în acest mod un nivel de iluminare ridicat folosind surse de putere mică, economisind astfel energie electrică.

Alegerea (stabilirea) sistemului de iluminat direct, indirect sau mixt se face în funcţie de destinaţia încăperii, de activitatea desfăşurată, de culoarea şi coeficienţii de reflexie ai tavanului şi pereţilor încăperii.

Lămpile electrice cu temperatură de culoare scăzută se recomandă a se folosi în cazurile în care timpul de utilizare este redus, când nivelul de iluminare pe planul de lucru este mic, atunci când se utilizează sistemul de iluminat local şi când se urmăreşte obţinerea de culori calde.

Sursele luminoase cu temperaturi de culoare medii şi mari sunt recomandate atunci când nivelul de iluminare stabilit pe planul de lucru – pentru suprafeţe mari – are valori ridicate, în cazurile în care se impun luminanţe scăzute ale surselor şi se cere redarea corectă a culorilor şi numărul de conectări-deconectări este redus.

Aparatele (corpurile) de iluminat se vor alege în funcţie de sursa de lumină stabilită, de sistemul de iluminat ales (direct, indirect, semi-direct, semi-indirect, mixt), de unghiul de protecţie ce trebuie obţinut, de luminanţa ce trebuie realizată, de randamentul corpului de iluminat, de estetica încăperii, de preţul de cost etc.

Amplasarea corpurilor de iluminat este dependentă de nivelul de uniformitate impus pentru iluminare şi de luminanţa admisă.

Uniformitatea iluminării este determinată de numărul corpurilor de iluminat, de înălţimea h la care sunt plasate faţă de planul de lucru şi de distanţa d dintre ele.

Înălţimea h la care se amplasează corpurile de iluminat este stabilită

în funcţie de considerente constructive sau practice. Distanţa *d* între corpurile de iluminat se calculează în funcţie de tipul surselor de iluminat şi de uniformitatea impusă iluminării:

$$d = d^* \cdot h, \qquad (8.1)$$

unde *d** este un coeficient indicat în literatură[58] pentru diferite sisteme de iluminat, având valorile următoare: 0,5÷1,0 pentru iluminatul direct, 1,0 la iluminatul mixt, 1,2÷1,5 la iluminatul indirect.

Distanţa între corpurile de iluminat şi pereţi se recomandă a se calcula conform relaţiei

$$d_p = (0{,}25 \div 0{,}50)d. \qquad (8.2)$$

Valorile ce rezultă din relaţiile *(8.1)* şi *(8.2)* sunt utile în calculele de predimensionare, stabilirea lor exactă şi corectă făcându-se prin calcule repetate de verificare a uniformităţii iluminării. Marile firme producătoare de aparate de iluminat au lansat **aplicaţii de calcul a sistemelor de iluminat** care permit distribuirea judicioasă a aparatelor de iluminat, astfel încât să fie respectate datele iniţiale de proiectare şi calitatea sistemului de iluminat.

În urma stabilirii amplasării corpurilor de iluminat se obţine numărul total al acestora. Numărul surselor de lumină care urmează a fi plasate într-un corp de iluminat va fi stabilit pe baza fluxului luminos corespunzător unui corp şi a fluxului corespunzător sursei luminoase alese.

8.1.2. Metode de calcul fotometric al instalaţiilor de iluminat interior

Se utilizează diverse metode de calcul fotometric, în funcţie de spaţiul care urmează a fi iluminat. Se disting două tipuri de metode de calcul al instalaţiilor de iluminat interior se folosesc

– metode globale şi

– metode punctuale.

Metodele globale de calcul al instalaţiilor de iluminat interior

Aceste metode iau în considerare factorii de reflexie ai tavanelor, pereţilor şi pardoselii (podelei). Calculul porneşte de la valoarea medie normată a iluminării, urmărind a se realiza o anumită uniformitate a acesteia în planul de lucru. Literatura prezintă mai multe variante de metode globale

[58] **Comşa, D., ş.a.** *Proiectarea instalaţiilor electrice industriale,* Ed. Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1983.

de calcul: metoda inter-reflexiilor (reflexii infinite), metoda factorului de utilizare, metoda CIE. Dintre acestea, cea mai utilizată este metoda factorului de utilizare.

Metodele globale au avantajul unei utilizări rapide, eficiente, putând fi utilizate aplicaţii specializate pe calculator.

Metoda factorului de utilizare se aplică la calculul instalaţiilor de iluminat general interior, când nivelul de iluminare pe planul de lucru este influenţat de factorii de reflexie ai tavanului, pereţilor şi pardoselii, prin intermediul fluxului luminos reflectat de către aceste suprafeţe.

Această metodă este aproximativă şi se aplică pentru determinarea în primă variantă a fluxului total emis şi a iluminării pe planul de lucru, a iluminării pereţilor. Pentru determinarea exactă a iluminării pe planul de lucru se utilizează metoda punct-cu-punct. Pentru înălţimi mai mari de 4 m, diferenţa care apare între rezultatele obţinute prin cele două metode este considerabilă.

În aplicarea metodei factorului de utilizare sunt importante:

– planul de lucru (planul util sau de muncă), care este o suprafaţă pe care se desfăşoară activitatea de muncă (scris, citit, desenat), paralel cu suprafaţa pardoselii şi situat la înălţimea h_u, de regulă 0,85 m;

– planul de suspensie al aparatelor de iluminat, cuprinzând centrul surselor de lumină.

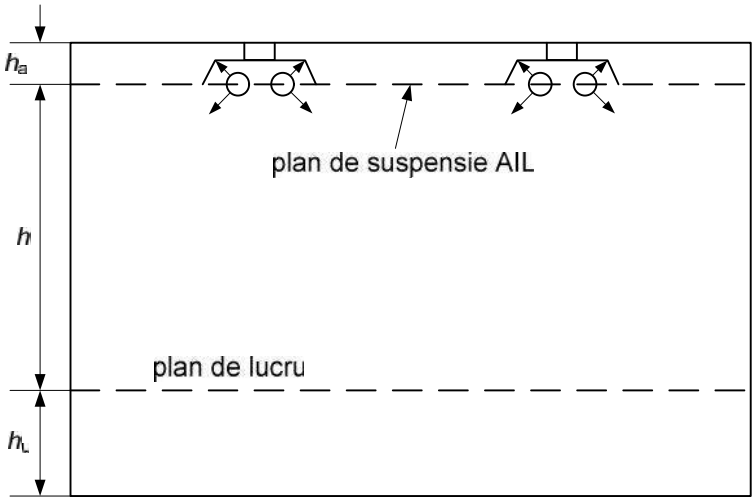


Fig. 8. 1 Secţiune printr-o încăpere, cu evidenţierea celor două plane.

Factorul de utilizare *u* al unei instalaţii de iluminat este definit ca fiind raportul dintre fluxul luminos util pe planul de lucru Φ_u şi fluxul total emis de sursele de lumină Φ_t:

$$u = \frac{\Phi_u}{\Phi_t}. \qquad (8.3)$$

Factorul de utilizare depinde de distribuţia şi emisia fluxului luminos de către aparatele de iluminat, de factorii de reflexie ai tavanului, pereţilor şi pardoselii, şi de dimensiunile încăperii: lungime, lăţime şi înălţimea de suspensie *h*.

Fluxul luminos util poate fi exprimat în funcţie de iluminarea medie E_{med} pe planul de lucru având suprafaţa *S*:

$$\Phi_u = E_{med} \cdot S. \qquad (8.4)$$

Dacă se introduce noţiunea de **utilanţă** sau randament al încăperii η_i, definit ca raportul dintre fluxul luminos util pe planul de lucru Φ_u şi fluxul emis de aparatele de iluminat Φ_c

$$\eta_i = \frac{\Phi_u}{\Phi_c}, \qquad (8.5)$$

din relaţiile *(8.3)* şi *(8.5)* rezultă

$$u = \eta_c \cdot \eta_i. \qquad (8.6)$$

În relaţia *(8.6)* η_c reprezintă randamentul aparatului de iluminat, fiind definit cu relaţia *(5.4)*.

Dacă se are în vedere factorul de depreciere Δ, numărul de aparate de iluminat *n* stabilite, iluminarea medie stabilită E_{med}, factorul de utilizare *u*, atunci fluxul luminos corespunzător lămpilor dintr-un aparat de iluminat va fi

$$\Phi_{lt} = \frac{E_{med} \cdot S}{u \cdot \Delta \cdot n}. \qquad (8.7)$$

Având în vedere că fluxul luminos al unei lămpi Φ_l este cunoscut în momentul stabilirii tipului lămpii, se poate calcula numărul de lămpi pentru un AIL:

$$n_l = \frac{\Phi_{lc}}{\Phi_l}. \qquad (8.8)$$

Factorul de utilizare *u* este dat în tabele în funcţie de coeficienţii de reflexie ai tavanului, ai pereţilor şi ai pardoselii, de randamentul corpurilor de iluminat şi de indicele încăperii *i* – care ţine seama de forma încăperii – fiecare firmă având tabele proprii pentru acest factor.

Indicele încăperii se calculează cu relaţia

$$i = \frac{L \cdot l}{h(L + l)}, \qquad (8.9)$$

unde *L*, *l*, *h* sunt: lungimea şi lăţimea încăperii, respectiv înălţimea între planul de lucru şi planul de suspensie.

În tabelul 8.1 sunt prezentate valorile indicelui încăperii şi factorului de utilizare, în funcţie de factorii de reflexie prezentaţi.

Tabel 8.1

Valori factori de reflexie									
tavan	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,0
pereţi	0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1	0,3	0,1	0,0
pardoseală	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,0
Indicele încăperii	Valori factor de utilizare								
0,60	0,40	0,36	0,34	0,39	0,36	0,34	0,35	0,33	0,33
0,80	0,45	0,42	0,39	0,44	0,41	0,39	0,40	0,38	0,37
1,00	0,50	0,46	0,44	0,48	0,45	0,43	0,43	0,42	0,41
1,25	0,54	0,50	0,48	0,52	0,49	0,47	0,46	0,45	0,44
1,50	0,56	0,53	0,51	0,54	0,52	0,49	0,49	0,47	0,46
2,00	0,60	**0,58**	0,55	0,58	0,56	0,54	0,52	0,51	0,50
2,50	0,63	0,61	0,59	0,60	0,58	0,57	0,54	0,53	0,52
3,00	0,65	0,63	0,61	0,62	0,60	0,59	0,55	0,54	0,53
4,00	0,67	0,65	0,63	0,63	0,62	0,61	0,56	0,55	0,54
5,00	0,68	0,66	0,65	0,64	0,63	0,62	0,57	0,56	0,55

Relaţia *(8.9)* poate fi folosită în mai multe moduri, după scopul urmărit. Dacă se exprimă E_{med} în funcţie de celelalte mărimi, atunci cu această relaţie se poate face un calcul de verificare al nivelului mediu de iluminare realizat de instalaţia proiectată. Dacă se exprimă *n* în funcţie de celelalte mărimi, se poate determina numărul de corpuri de iluminat necesare sau – având în vedere şi relaţia *(8.8)* – se poate determina numărul de surse ($n \cdot n_1$) necesare.

Aplicarea metodei factorului de utilizare presupune parcurgerea următorilor paşi:

1. Calculul indicelui încăperii, utilizând relaţia *(8.9)* pentru sisteme de iluminat direct, semi-direct şi mixt; pentru sisteme semi-indirect şi indirect se foloseşte indicele corectat *i'*, determinat cu relaţia

$$i' = 1{,}5 \cdot i. \qquad (8.10)$$

2. Stabilirea valorilor factorilor de reflexie pentru tavan, pereţi şi pardoseală.
3. Determinarea din tabele de forma tabelului 8.1 a factorului de utilizare în funcţie de indicele încăperii şi factorii de reflexie ai

tavanului, pereţilor şi pardoselii (sau se extrapolează, dacă indicele încăperii şi factorii de reflexie nu coincid cu cei daţi în tabele). Calculul se repetă până când se obţine varianta cu cei mai buni factori de calitate şi cel mai mic consum de energie electrică.

Metodele punctuale de calcul al instalaţiilor de iluminat interior

Metodele punctuale pornesc de la utilizarea curbelor fotometrice, pentru a determina valori precise în fiecare punct al încăperii, respectiv al planului util, pentru iluminarea directă E_d.

Dacă iluminarea în planul de lucru este influenţată şi de factorii de reflexie ai tavanului, pereţilor şi pardoselii, metoda poate fi completată calculând şi iluminarea în planul de lucru E_r determinată de reflexii.

Calculele de proiectare care folosesc atât metodele punctuale de determinare a iluminării directe, cât şi cele de determinare a iluminării date de reflexii sunt cele mai complete, conducând la uniformităţi convenabile în planul de lucru.

Dintre metodele punctuale de calcul al instalaţiilor de iluminat interior, cele mai cunoscute sunt:

– metoda punct-cu-punct de calcul a iluminării;
– metoda de calcul a iluminării produse de linii luminoase;
– metoda de calcul a iluminării produse de suprafeţe luminoase.

Metoda punct-cu-punct de calcul a iluminării este o metodă directă, care se aplică în cazul în care suprafeţele pereţilor şi tavanului nu influenţează nivelul de iluminare al planului de lucru. Această metodă se poate aplica la calculul iluminatului interior, calculul iluminatului local cu surse punctiforme şi la calculul iluminatului exterior.

Pentru o sursă punctiformă, iluminarea unui punct *P* pe planul de lucru orizontal – dată de relaţia *(2.13), Fig. 2.10* – este

$$E_{Ph} = \frac{I_\alpha \cos^3 \alpha}{h^2}. \qquad (8.11)$$

Iluminarea aceluiaşi punct *P*, aflat în plan vertical, este

$$E_{Pv} = \frac{I_\alpha}{r^2}\cos(90° - \alpha) = \frac{I_\alpha}{h^2}\cos^2 \alpha \cdot \sin \alpha. \qquad (8.12)$$

Iluminarea punctului *P* aflat într-un plan normal pe direcţia intensităţii luminoase este

$$E_P = \frac{I_\alpha}{r^2} = \frac{I_\alpha}{h^2} \cos^2 \alpha. \qquad (8.13)$$

Pentru a aplica cu uşurinţă această metodă, se calculează pentru unul

din corpurile de acelaşi tip cu care se realizează o anumită instalaţie de iluminat şi pentru înălţimea *h* stabilită variaţia iluminării în funcţie de distanţa *l* de la verticala ce trece prin lampă până la punctul considerat (*Fig. 2.10*). Privită în spaţiu, variaţia iluminării în funcţie de distanţă are forma unui clopot, care este denumit **corpul geometric al iluminărilor**.

Intersectând corpul geometric al iluminărilor cu planuri paralele orizontale la diferite nivele de iluminare, se obţin curbe de egală iluminare – aşa numitele **curbe izolux**. Acestea sunt – în cazul unei surse punctiforme simetrice – cercuri concentrice cu centrul în punctul ce reprezintă proiecţia sursei pe planul de intersecţie.

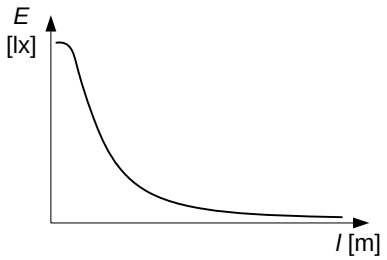


Fig. 8. 2 Variaţia iluminării în funcţie de distanţa orizontală.

Pentru a stabili valoarea iluminării într-un punct oarecare al planului de lucru se măsoară distanţele l_i din acel punct până la proiecţiile în plan ale surselor, se citesc iluminările E_i corespunzătoare în curbele de forma indicată în figura 8.2 şi apoi se face însumarea iluminărilor parţiale corespunzătoare tuturor surselor din încăpere.

Metoda punct-cu-punct de calcul a iluminării este mai mult o metodă de verificare a uniformităţii iluminării realizate.

Metoda de calcul a iluminării produse de linii luminoase se utilizează în calculul instalaţiilor de iluminat ale halelor industriale în care sunt folosite lămpi fluorescente. Se obişnuieşte ca acestea să fie amplasate sub formă de **linii luminoase**.

Pentru dimensionarea instalaţiei de iluminat în asemenea cazuri se poate folosi metoda factorului de utilizare, dar pentru calculul exact al iluminării într-un punct P se integrează – pentru lungimea *l* a liniei – iluminarea dată de un element d*x* al liniei luminoase. Elementul infinit mic al liniei luminoase văzut din planul de lucru se aproximează cu o suprafaţă $dS_1=\delta\cdot dx$.

Iluminarea punctului P considerat în plan orizontal (*Fig. 8.3*) este – vezi şi relaţiile *(2.13)* şi *(2.37)* –

$$dE_{Ph} = \frac{dI_m \cdot \cos^2\alpha}{MP^2} = \frac{L\cdot\delta\cdot dx\cdot\cos^2\alpha}{MP^2}, \qquad (8.14)$$

dar $h=MP\cdot\cos\alpha$ şi $x=h\cdot\mathrm{tg}\alpha$, iar $dx=\frac{d\alpha}{\cos^2\alpha}$. Înlocuind în relaţia *(8.14)*, rezultă

$$dE_{Ph} = \frac{L \cdot \delta}{h} \cos^2 \alpha \cdot d\alpha. \qquad (8.15)$$

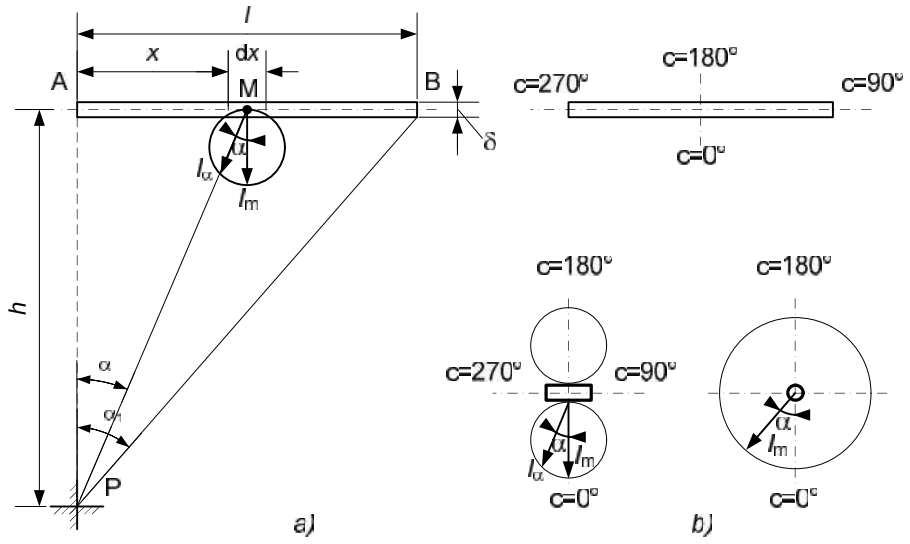


Fig. 8. 3 a) explicativă la calculul iluminării într-un punct P, aflat sub linia luminoasă, dată de sursa luminoasă liniară AB; b) curbele fotometrice ale unui tub perfect difuzant.

Mărimea $I_n = L \cdot \delta$ este intensitatea luminoasă pe direcţie normală a unităţii de lungime a sursei liniare. Între această mărime şi fluxul total al sursei liniare există următoarea relaţie – vezi şi relaţia *(3.13)*:

$$\Phi = \pi^2 \cdot I_n \cdot l. \qquad (8.16)$$

Integrând relaţia *(8.15)* între limitele 0 şi α_1, rezultă

$$E_{Ph} = \frac{I_n}{4h}(2\alpha_1 + \sin 2\alpha_1), \qquad (8.17)$$

dar $\sin 2\alpha_1 = 2 \sin \alpha_1 \cdot \cos \alpha_1 = \frac{2 \cdot l \cdot h}{h^2 + l^2}$; $2\alpha_1 = 2\text{arctg}\frac{l}{h}$.

Iluminarea punctului P în planul de lucru (plan orizontal) este deci

$$E_{Ph} = \frac{I_n}{2h}\left(\frac{l \cdot h}{h^2 + l^2} + \text{arctg}\frac{l}{h}\right) = \frac{\Phi}{2\pi^2 l \cdot h}\left(\frac{l \cdot h}{h^2 + l^2} + \text{arctg}\frac{l}{h}\right). \qquad (8.18)$$

Iluminarea punctului P considerat în plan vertical se obţine în mod analog, ea având expresia

$$E_{\mathrm{Pv}} = \frac{\Phi}{2\pi^2 h \cdot l}\left(\frac{l^2}{h^2+l^2}\right). \qquad (8.19)$$

Iluminările – verticale sau orizontale – în alte puncte ale planului de lucru (dar pe proiecţia liniei luminoase pe planul de lucru) se calculează făcând suma sau diferenţa iluminărilor date de către relaţiile *(8.18)* şi *(8.19)* – vezi şi figura 8.4.

Iluminarea produsă de către linia luminoasă AB în punctul P_1 se obţine făcând suma iluminărilor produse de secţiunile AC şi CB:

$$E_{\mathrm{P_1h}} = E_{\mathrm{ACh}} + E_{\mathrm{CBh}}. \qquad (8.20)$$

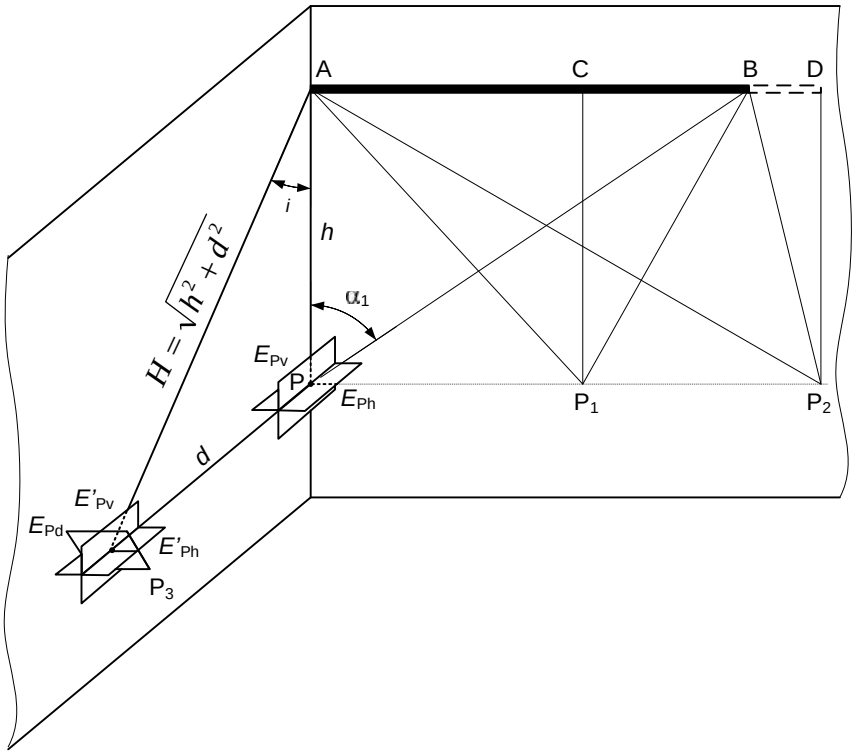


Fig. 8. 4 Explicativă la calculul iluminării produsă de surse de lumină liniare într-un punct oarecare din planul de lucru P_3.

Iluminarea produsă de către linia luminoasă AB în punctul P_2 este

$$E_{\mathrm{P_2h}} = E_{\mathrm{ADh}} - E_{\mathrm{BDh}}. \qquad (8.21)$$

Iluminarea orizontală produsă de sursa AB în punctul P_3, situat în planul de lucru, la distanţa *d* de proiecţia liniei luminoase pe acesta este

$$E_{\mathrm{Ph}_3} = E'_{\mathrm{Ph}} \cdot \cos i = E'_{\mathrm{Ph}} \frac{h}{\sqrt{d^2 + h^2}}, \qquad (8.22)$$

unde iluminarea E'_{Ph} este calculată cu relaţia *(8.18)*, în care distanţa *h* este înlocuită cu distanţa $H = \sqrt{h^2 + d^2}$.

Deci, iluminarea orizontală în punctul P_3 este dată de expresia

$$E_{\mathrm{P_3h}} = \frac{\Phi}{2\pi^2 \cdot l} \frac{h}{h^2 + d^2} \left(\frac{\sqrt{h^2 + d^2} \cdot l}{h^2 + d^2 + l^2} + \operatorname{arctg} \frac{l}{\sqrt{h^2 + d^2}} \right). \qquad (8.23)$$

Deoarece calculul iluminării cu aceste formule este destul de laborios s-au construit diagrame în care – în funcţie de distanţele pe orizontală *d* şi pe verticală *h*, de la punct la proiecţia şirului luminos pe planul de lucru, respectiv la şirul luminos – se indică valoarea iluminării, considerând că fluxul luminos este de 1.000 lm. În prezent marile firme producătoare de surse şi aparate de iluminat au realizat programe care – pe lângă faptul că folosesc relaţiile de mai sus – introduc şi corecţii, în funcţie de clasa aparatului de iluminat.

Metoda de calcul a iluminării produse de suprafeţe luminoase se aplică atunci când pentru iluminare se utilizează tavane luminoase sau pereţi luminoşi. Calculul iluminării în diferite puncte ale planului de lucru se face presupunând panourile luminoase **perfect difuzante**.

Pornind de la relaţia *(2.13)* şi făcând integrală pe suprafaţa panoului luminos de luminanţă *L*, se obţine:

– pentru panoul circular (*Fig. 8.5*) iluminarea punctului P aflat în plan orizontal este[59]:

$$E_{\mathrm{Ph}} = \frac{\pi L}{2}(1 - \cos\gamma). \qquad (8.24)$$

– pentru panou dreptunghiular, iluminarea unui punct P conţinut în plan orizontal, respectiv vertical, aflat în planul de lucru pe o perpendiculară coborâtă dintr-unul din colţurile panoului (*Fig. 8.6*) este

$$E_{\mathrm{Ph}} = \frac{L}{2}(\beta_2 \sin\alpha_1 + \alpha_2 \sin\beta_1) \qquad (8.25)$$

şi

$$E_{\mathrm{Pv}} = \frac{L}{2}(\alpha_1 - \alpha_2 \cos\beta_1). \qquad (8.26)$$

[59] **Gheorghiu, N. ş.a.** *Utilizarea energiei electrice în industrie şi agricultură,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1975.

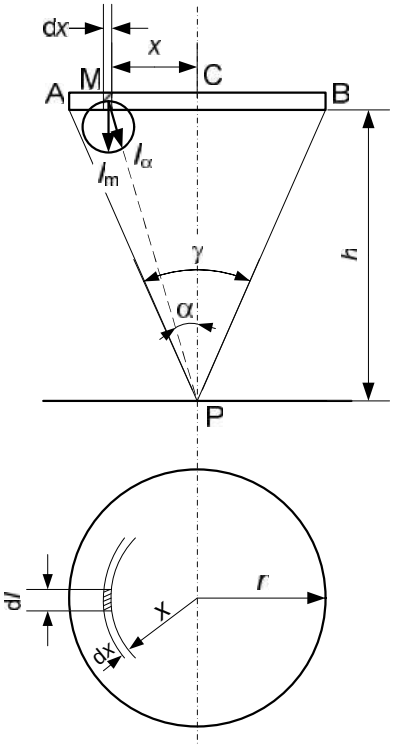


Fig. 8. 5 Iluminarea produsă de o suprafaţă circulară S în punctul P.

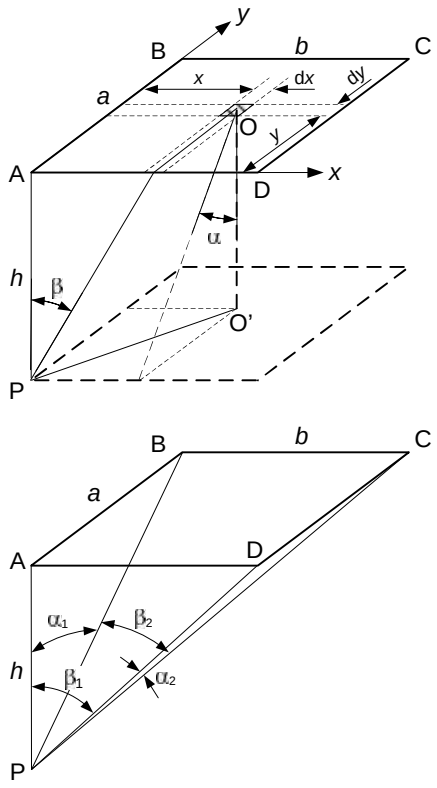


Fig. 8. 6 Iluminarea produsă de o suprafaţă dreptunghiulară.

În cazul în care punctul P nu se găseşte în situaţia amintită, prin împărţirea panoului luminos (real sau fictiv) în dreptunghiuri de dimensiuni convenabile (reale sau fictive), calculul iluminărilor se reduce la adunări sau scăderi parţiale, calculate cu relaţiile *(8.25)* şi *(8.26)*.

Practic, se utilizează diagrame de calcul pentru diferite valori ale dimensiunilor panoului luminos şi ale distanţei de la panou la punctul în care se determină iluminarea[60]. În prezent marile firme producătoare de surse şi aparate de iluminat au realizat programe care folosesc relaţiile de mai sus. Aceste aplicaţii se folosesc cu uşurinţă şi pentru calculul iluminării produse de panouri de iluminat verticale.

Faţă de metodele de calcul mai sus prezentate se mai utilizează – în calcule estimative – metoda puterii specifice.

Metoda puterii specifice se foloseşte pentru calculul rapid al iluminatului general al suprafeţelor de lucru în **faza întocmirii**

[60] **Prisăcaru, V. ş.a.** *Utilizările energiei electrice,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1969.

anteproiectului. Metoda este **aproximativă** şi se bazează pe folosirea puterii instalate specifice medii pentru diferite surse de iluminare, sisteme de iluminare şi nivele de iluminare. Puterea instalată specifică medie este dată în tabele în W/m^2.

8.2. Calculul sistemelor de iluminat exterior

8.2.1. Datele iniţiale pentru proiectare

Metodele de calcul ale sistemelor de iluminat exterior au ca scop realizarea unui iluminat artificial confortabil, funcţional şi estetic, în spaţii largi deschise, de-a lungul străzilor şi autostrăzilor, în gări şi aeroporturi, în iluminarea arhitecturală, în zonele rezidenţiale etc.

Pentru proiectarea unei instalaţii de iluminat exterior trebuie cunoscute următoarele date:

- dimensiunile spaţiului de iluminat;
- textura şi proprietăţile fotometrice ale materialelor pentru acoperirea suprafeţelor pe care se desfăşoară o activitate în aer liber;
- posibila amplasare a stâlpilor şi înălţimea lor (în cazul calculelor de reproiectare);
- stabilirea benzilor de circulaţie în spaţiile destinate transporturilor;
- tensiunea de alimentare a instalaţiei.

Pe baza acestor date se stabilesc:

- iluminarea pe suprafaţa de interes,
- sistemul de iluminat şi sursele de lumină,
- aparatele de iluminat,
- amplasarea aparatelor de iluminat,
- numărul surselor de iluminat.

În final, se verifică calitativ şi cantitativ realizarea corespunzătoare a iluminatului, prin factorii precizaţi în § 7.2 (Calitatea iluminatului artificial asigurat de sisteme de iluminat exterior).

Iluminarea pe planul de lucru se ia din normative – a se vedea Anexa 6 (Valori ale indicelui global de orbire UGR şi ale indicelui de redare a culorilor R_a), în funcţie de destinaţia spaţiului de iluminat. Astfel, se disting instalaţii de iluminat pentru aeroporturi, zone de construcţii, staţii de combustibil, zone industriale şi de depozitare, zone petrochimice şi cu pericol ridicat de exploatare, parcări, centrale de producere a energiei electrice, de distribuţie a gazelor combustibile, depouri,

depozite şi fabrici de cherestea.

Sursele de lumină şi **sistemul de iluminat** se aleg în funcţie de cele prezentate în § 6.2. (Sisteme de iluminat exterior), în funcţie de scopul iluminatului (activităţi de muncă, activităţi de divertisment, căi de circulaţie pietonală/rutieră, arhitectural, publicitar).

Sursele de lumină folosite sunt surse cu temperatură de culoare mare, cu o bună redare a culorilor acolo unde este necesar (iluminatul arhitectural) sau un indice de redare a culorilor mai redus unde acest lucru nu deranjează (străzi şi autostrăzi).

Lămpile fluorescente cu vapori de mercur se recomandă atunci când ciclurile de funcţionare ale instalaţiei sunt foarte lungi, atunci când efectul stroboscopic nu deranjează,.

Lămpile cu vapori de sodiu sunt recomandate când nu se cere o redare exactă a culorilor, la iluminarea unor suprafeţe mari, în condiţii grele de vizibilitate.

8.2.2. Metode de calcul fotometric al instalaţiilor de iluminat exterior

Metodele de calcul utilizate în calcularea sistemelor de iluminat exterior sunt cele punctuale, având în vedere lipsa suprafeţelor reflectante şi datorită distanţelor mari între aparatele de iluminat şi planul util (sursele de lumină pot fi considerate surse punctuale).

Metodele de proiectare utilizate pot avea în vedere:

– luminanţele şi uniformitatea luminanţei pe spaţiul de interes,

– iluminările şi uniformitatea iluminării,

– atât luminanţele cât şi iluminările.

Calculele de proiectare a sistemelor de iluminat exterior sunt practic particularizate pentru fiecare zonă de interes, aplicându-se în mod distinct. Spre exemplu, în proiectarea iluminatului stradal nu există practic două străzi identice.

Firmele producătoare de surse şi aparate de iluminat au dezvoltat programe de proiectare axându-se în special pe proiectarea sistemelor de iluminat:

– al străzilor şi autostrăzilor,

– al zonelor pietonale,

– al clădirilor monumentale (iluminat arhitectural),

– al altor arii, amintite în § 8.2.1 (Datele iniţiale pentru proiectare).

După alegerea iniţială a sistemului de iluminat exterior (amplasare, înălţime, tip AIL, tip surse, poziţionare surse) prin soft-uri specializate se face un calcul de verificare cantitativ (realizarea nivelului de iluminare mediu propus şi uniformitatea iluminării cerute de standarde) şi calitativ

(verificarea distribuţiei iluminărilor şi luminanţelor) în funcţie de cerinţele cuprinse în datele de proiectare. Utilizarea calculatorului oferă avantajul că elimină un volum mare de lucru şi permite realizarea mai multor variante – până la obţinerea variantei optime – într-un timp foarte scurt.

Capitolul 9. PROIECTAREA SISTEMELOR DE ILUMINAT FOLOSIND PROGRAME SPECIALIZATE

9.1. Generalităţi

Metodele clasice de calcul a iluminării prezintă marele avantaj al unei determinări de precizie a iluminării, precizia fiind cu atât mai mare cu cât producătorul de aparate de iluminat a determinat o curbă a distribuţiei luminoase (curba fotometrică) mai exactă pentru aparatele de iluminat care se vor utiliza. Dacă se fac determinări în cât mai multe puncte, cu suficientă precizie, se obţine un rezultat al iluminării medii pe o suprafaţă (plan util, plafon, perete) care este comparat cu cel impus prin datele de proiectare.

Metodele clasice necesitau însă un volum mare de muncă şi, evident, un timp destul de îndelungat alocat calculelor. Acest dezavantaj a determinat marile firme producătoare de AIL şi/sau surse de lumină să dezvolte aplicaţii software pentru calcularea parametrilor fotometrici corespunzători unui sistem de iluminat.

În general, se consideră că un număr de n=250÷1.000 de puncte este suficient pentru determinarea iluminării medii directe.

Iluminarea directă $E_{\mathrm{dP_i}}$ unui punct $\mathrm{P_i}$ se determină prin metoda punct-cu-punct, luând în considerare cele N aparate de iluminat, care formează sistemul de iluminat pentru un spaţiu de interes, folosind relaţia

$$E_{\mathrm{dP_i}} = \sum_{k=1}^{N} \left(E_{\mathrm{dP_i}}\right)_{\mathrm{k}}, \qquad (9.1)$$

în care k reprezintă ordinul aparatului de iluminat din cele N AIL. Relaţia *(9.1)* se aplică de $n \cdot N$ ori pentru a cunoaşte iluminarea directă în cele n puncte, determinată de cele N aparate de iluminat.

Utilizarea calculatorului permite efectuarea celor $n \cdot N$ calcule într-un timp extrem de redus.

Cunoscând iluminarea directă în fiecare punct $\mathrm{P_i}$ din cele n puncte alese de către program sau programator, dată de cele N aparate de iluminat, se poate determina valoarea medie a iluminării $E_{\mathrm{d_{med}}}$ în zona de interes, cu relaţia

$$E_{\mathrm{d_{med}}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} E_{\mathrm{dP_i}}. \qquad (9.2)$$

La început aceste programe foloseau doar baza de date a firmei respective, care conţinea aparatele (corpurile) de iluminat şi/sau sursele fabricate de către firma respectivă. De-a lungul timpului acest dezavantaj a fost eliminat, acum marea majoritate a aplicaţiilor pot accesa baze de date (prin aşa-numitele *PlugIn*-uri – „conectare" la o bază de date) pentru o multitudine de firme producătoare de aparate de iluminat (cele care au fost de acord cu libera lor accesare pe internet).

Desigur că toate aceste programe îşi propun să respecte standardele în domeniu, însă acestea nu sunt puţine. În funcţie de actualitatea şi/sau actualizarea normelor europene în acest domeniu (care de altfel ar trebui să fie puse de acord cu cele emise de către Comisia Internaţională a Iluminatului, CIE – acronim provenind de la denumirea în limba franceză: **C**ommission **i**nternationale de l'**é**clairage[61]) aplicate în diverse ţări ale UE s-a ajuns la o varietate de astfel de aplicaţii software.

Astfel, în ultimii ani, diverse firme producătoare de aparate şi/sau surse de iluminat au dezvoltat aplicaţii de proiectare sau calculare a parametrilor lumino-tehnici ai unui sistem de iluminat (fie interior, fie exterior, fie pentru ambele situaţii). Astfel, firma General Electric a dezvoltat soft-ul EuroPic, firma Philips a pus la dispoziţia utilizatorilor CalcuLux (un pachet complex, care conţine aplicaţiile CalcuLux Area – pentru suprafeţe, CalcuLux Road – pentru străzi/şosele, CalcuLux Indoor – pentru încăperi/săli), iar firma Elba SA din Timişoara a realizat soft-urile ElbaLux2 pentru calculul sistemelor de iluminat în funcţie de luminanţă (care se aplică iluminatului stradal) şi ElbaLux4 pentru calculul SIL pentru spaţii mari deschise şi iluminat interior.

Firma Dial GmbH a conceput un program complex şi complet, denumit DIALux, deja dezvoltat până la versiunea 4.7[62]. De fapt, asociaţia acţionarilor denumită DIAL e.V. este formată de către mai multe întreprinderi din domeniul iluminatului şi al construcţiilor.

Un avantaj major al acestor programe este acela că pot adăuga la valoarea iluminării directe şi pe cea reflectată, obţinându-se astfel iluminarea totală în diverse puncte (de obicei, o reţea – *Grid* în general, care poate fi setată chiar de către utilizator). Totodată, ele oferă şi rezultatele obţinute pentru luminanţe în aceleaşi puncte ale reţelei.

Există două modalităţi de bază de utilizare a acestor programe software.

[61] http://www.cie.co.at

[62] http://www.dial.de, http://www.dialux.com (sau, pentru varianta în limba română: http://www.dial.de/CMS/English/Articles/DIALux/Download/Download_ro.html?ID=1)

Prima posibilitate este următoarea: se alege o anumită valoare a iluminării, care se doreşte a se obţine (metodă folosită cel mai des pentru proiecte noi), apoi se determină – cu ajutorul aplicaţiei alese pentru proiectare – aparatele de iluminat şi sursele necesare, şi totodată unul dintre modurile posibile de dispunere ale acestora.

De exemplu, pentru o stradă cu anumite caracteristici (lăţimea, tipul şi materialul ce acoperă suprafaţa, intersecţiile cu alte străzi, prezenţa arborilor ornamentali etc.), care urmează a se construi, se alege una dintre clasele de iluminat, de la M1 la M5 (ME1 la ME5) – care stabilesc nivelul iluminării în planul de interes. După ce calculele sunt făcute de către programul ales de către proiectant, tot programul indică dacă rezultatele obţinute cu AIL alese şi cu dispunerea lor, se încadrează în valorile prevăzute pentru clasa respectivă.

A doua posibilitate de proiectare decurge oarecum invers: pe o configuraţie existentă a străzii (lăţimea existentă, distanţa dintre stâlpii montaţi – pe o parte sau pe ambele părţi ale străzii, alternant sau faţă-în-faţă, înălţimea stâlpilor, înclinarea cârjelor de pe stâlpi, dacă există etc.) se caută diverse AIL, echipate cu diverse surse, care să permită încadrarea iluminării medii în clasa de iluminat necesară pentru strada respectivă (şi alţi parametrii lumino-tehnici: uniformitatea cerută pentru iluminare, luminanţa medie şi uniformitatea generală şi longitudinală a luminanţei).

Majoritatea aplicaţiilor de gen permit redarea rezultatelor calculelor în funcţie de alegerea proiectantului, alegere determinată de cerinţele utilizatorului. Astfel, se pot vizualiza şi apoi tipări: denumirea proiectului, cuprinsul, fişe de date ale AIL, date de proiectare, rezultate fotometrice (iluminări medii, minime, maxime; uniformităţi ale iluminării; luminanţe; uniformităţi ale luminanţelor; grade de orbire, raport de zonă alăturată etc.). Rezultatele pot fi redate tabelar, grafic (curbe izolux, curbe izocandelă), în plan sau spaţial etc.

9.2. Aplicaţia ELBALux

Firma Elba SA din Timişoara este la ora actuală cel mai important producător de aparate de iluminat din ţara noastră. Ea a reuşit să se menţină ca lider de piaţă în ultimii ani, având o tradiţie îndelungată în domeniu. În prezent, Elba SA este o firmă modernă, investind în tehnologii de fabricaţie şi în dotări sume considerabile[63]. Firma Elba SA a obţinut certificarea Sistemului Integrat Calitate-Mediu conform standardului SR EN ISO 14001:2005[64].

[63] www.elba.ro
[64] Idem 63.

Firma produce la ora actuală:

- corpuri de iluminat – fluorescente, exterioare ornamentale, pentru iluminat industrial, pentru medii cu pericol de explozie, iluminat de siguranţă, pentru amenajări interioare, semafoare.
- corpuri de iluminat auto;
- matriţe, scule şi dispozitive.

De asemenea, realizează:

- proiectare şi execuţie diverse repere metalice şi masă plastică;
- proiectare şi execuţie, modernizare şi întreţinere sisteme de iluminat interior, exterior şi stradal; se utilizează şi programul de proiectare DIALux, în limba română.

De asemenea, firma ELBA a realizat un software propriu de proiectare, denumit ELBALux (ajuns la versiunea 4.4, în anul 2005), care poate fi accesat şi descărcat gratuit la adresa web http://www.elba.ro, secţiunea *Download*.

În continuare, vom prezenta pe scurt aplicaţia ELBALux.

9.2.1. Calcul unui sistem de iluminat interior cu ELBALux 4.4

După instalarea programului (care arhivat are circa 3.300 KB), acesta poate fi lansat în lucru cu clic/dublu-clic pe pictograma corespunzătoare:

, acţiune care va determina apariţia ferestrei de pornire a programului, prezentată în figura 9.1.

Fig. 9. 1 Fereastra de start a aplicaţiei ELBALux.

Aceasta permite selectarea tipului de proiect ce se doreşte a fi executat: iluminat interior sau pentru suprafeţe, după ce mai întâi se alege

limba în care programul va interacţiona cu utilizatorul.

Dacă se alege meniul *Iluminat interior* apare o altă fereastră care permite alegerea (*Fig. 9.2*):

– dimensiunilor încăperii (lungimea *L*, lăţimea *l*, înălţimea *H*, în [m]);
– înălţimea la care se află planul de lucru H_u, în [m];
– factorii de reflexie ai tavanului, pereţilor şi podelei.

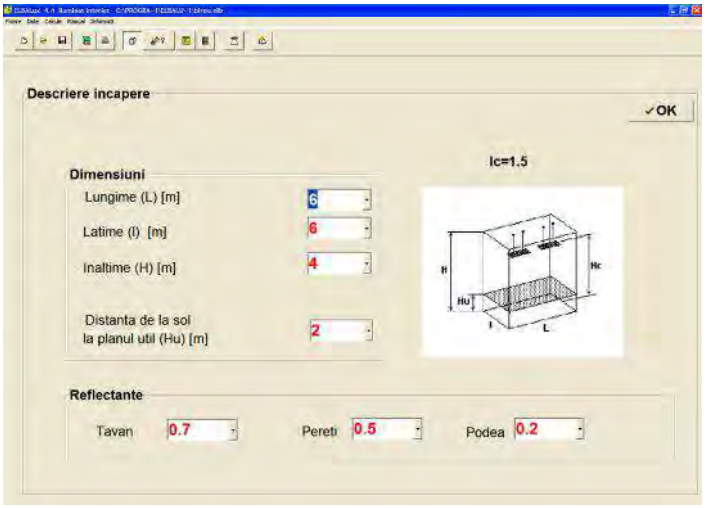


Fig. 9. 2 Datele iniţiale ale proiectului.

La acţionarea butonului *Salvare* (aflat pe bara de butoane) apare o altă fereastră în ale cărei zone se vor introduce diverse date legate de proiect

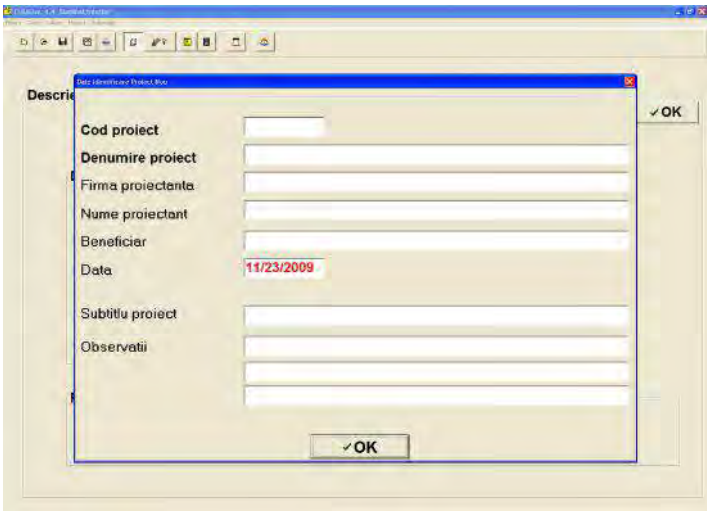


Fig. 9. 3 Salvarea proiectului: denumire, firma proiectantă, numele proiectantului, data etc.

(*Fig. 9.3*): cod proiect, denumire proiect, firma proiectantă, nume proiectant, beneficiar, dată – date care identifică proiectul şi permit refolosirea lui pentru diverse utilizări.

Se trece apoi la etapa următoare, şi anume alegerea aparatelor de iluminat şi a surselor, cu ajutorul butonului respectiv (aflat pe bara de butoane – *Fig. 9.4*). În această fereastră pot fi identificate şi apoi alese diverse tipuri de aparate de iluminat, fabricate de diferiţi producători, precum şi diverse tipuri de surse (lămpile) cu care vor fi echipate corpurile respective.

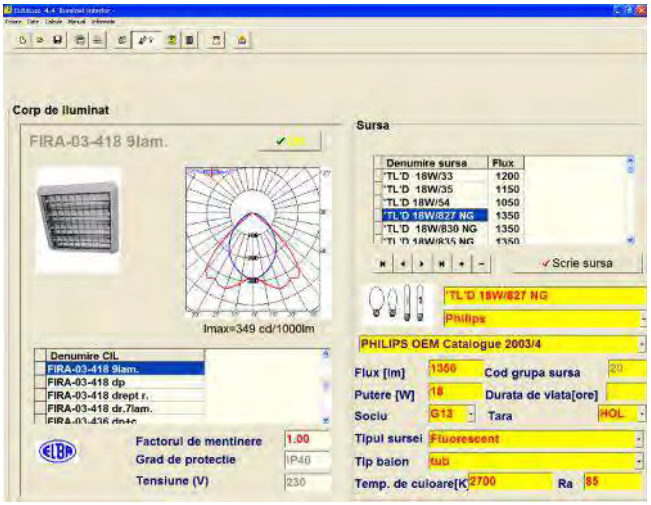


Fig. 9. 4 Alegerea AIL şi a surselor pentru proiectare.

În partea stângă a ferestrei se observă o fotografie a corpului de iluminat ales din baza de date care le conţine, precum şi curba fotometrică a CIL respectiv, cu precizarea iluminării maxime. Aceste date au o importanţă majoră la alegerea corpului de iluminat, în funcţie de datele preliminare de proiectare.

Sursele se aleg având în vedere fluxul luminos al acestora şi puterea electrică, alegându-se acele surse la care raportul celor două mărimi este cel mai mare. În partea din stânga-jos este afişată denumirea comercială a AIL (in exemplul din figură, FIRA-03-418). În partea dreaptă a ferestrei sunt prezente alte date, despre sursă (lampă): de exemplu, în figură este selectată o sursă TL D 18 W/827NG.

În partea din dreapta-jos se pot afla alte date despre sursa respectivă: firma producătoare (în acest caz, Philips), fluxul luminos al lămpii (1.350 lm), puterea electrică (18 W), modelul soclului (G13), tipul sursei (fluorescentă) şi al balonului (tub), temperatura de culoare (2.700 K), precum şi indicele de redare al culorilor R_a (85). După selectarea AIL şi a surselor dorite (în funcţie de caracteristicile precizate mai sus), se apasă butonul *Scrie sursa*, şi apoi butonul *OK*, după care se trece la etapa următoare.

Aceasta constă în alegerea amplasării corpurilor de iluminat (*Fig. 9.5*). Programul ne oferă deja o amplasare simetrică, în baza unei valori implicite a iluminării (400 lx în figura 9.5), amplasare determinată cu metoda factorului de utilizare (MFU) şi care poate fi modificată. Se poate modifica şi tipul aranjamentului, numărul AIL.

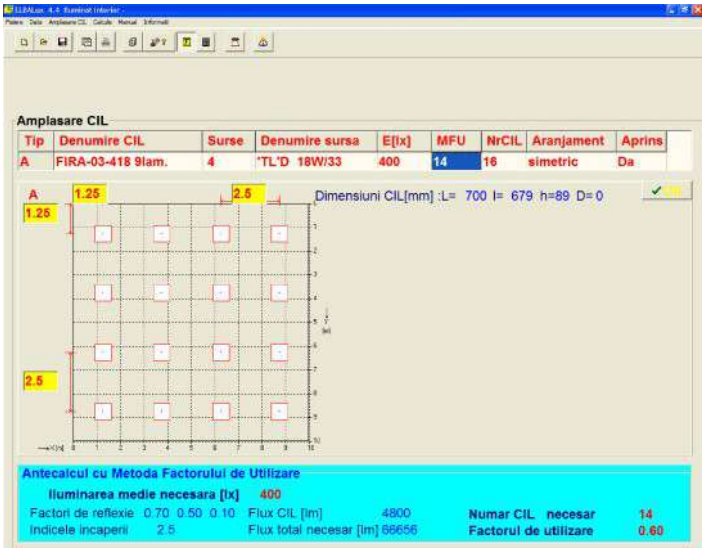


Fig. 9. 5 Alegerea amplasării AIL şi a distanţelor dintre ele.

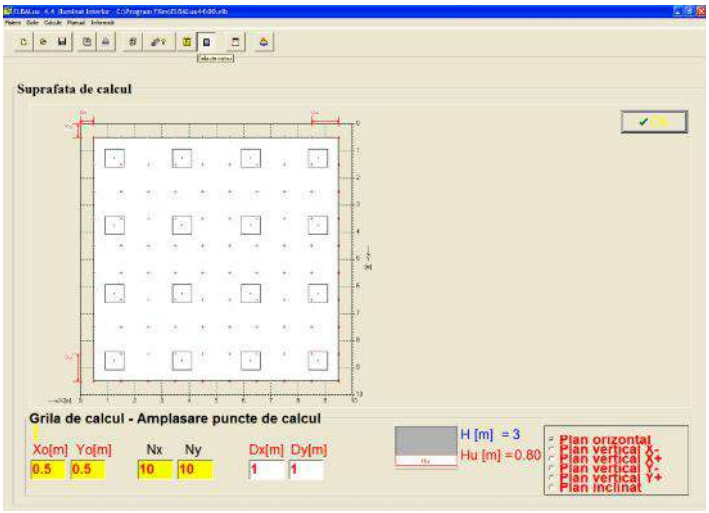


Fig. 9. 6 Alegerea grilei punctelor de calcul pentru suprafaţa respectivă.

Acestea pot fi aranjate simetric sau asimetric. De asemenea, se pot modifica distanţele dintre corpurile de iluminat şi dintre acestea şi pereţi.

Eventual, se mai pot modifica orientarea, înclinarea şi unghiul de rotaţie al AIL, care implicit au valoarea zero. În urma tuturor modificărilor dorite se apasă butonul *OK* şi se trece la următoarea etapă – cea referitoare la grila de calcul, respectiv la amplasarea punctelor de calcul (*Fig. 9.6*). În exemplul din figură, distanţa dintre punctele de calcul, pe ambele axe (*Ox* şi *Oy*) este de 0,5 m.

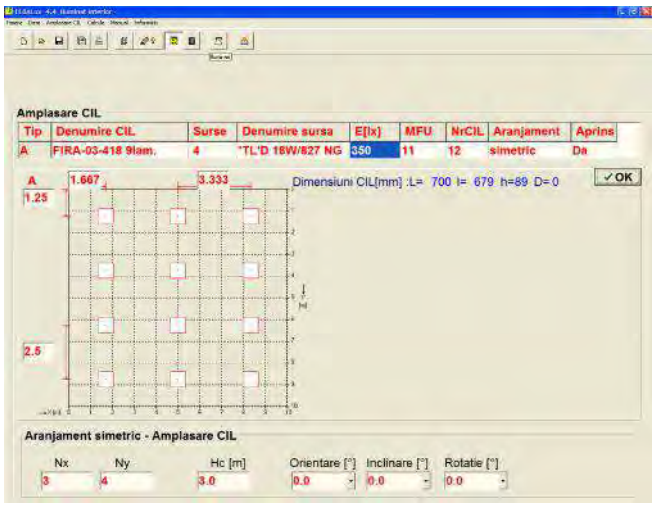


Fig. 9. 7 Amplasarea AIL şi a distanţelor dintre ele la iluminarea de 350 lx.

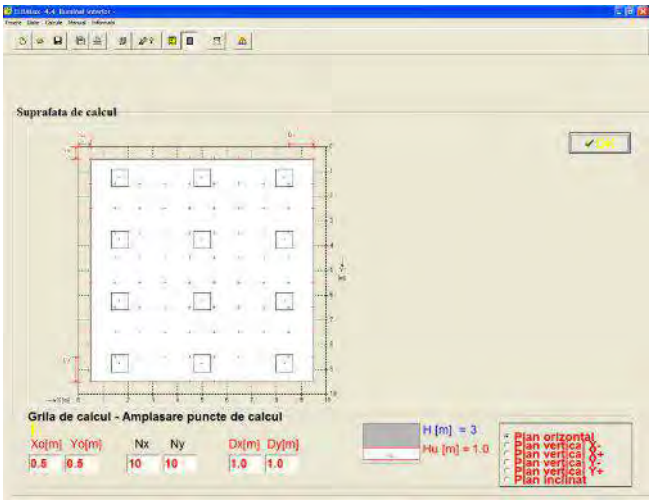


Fig. 9. 8 Valori calculate în punctele de calcul pentru AIL din figura 9.7.

Toate valorile marcate cu roşu pot fi modificate. După selectarea valorilor dorite se apasă butonul *OK* moment în care se porneşte calculul şi se poate trece la etapa următoare, adică la afişarea rezultatelor: E_{min}, E_{max},

E_{med}, E_{min}/E_{max}, E_{min}/E_{med}. Prin selectarea modului de redare a uniformităţii obţinute se pot vizualiza: diagrama izolux, curbe izolux, sau diagrama izolux 3D.

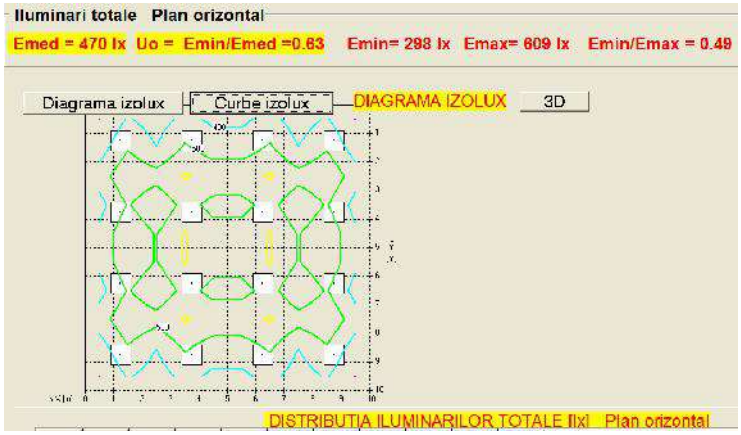

Iluminari totale Plan orizontal
Emed = 470 lx Uo = Emin/Emed =0.63 Emin= 298 lx Emax= 609 lx Emin/Emax = 0.49
Diagrama izolux
Curbe izolux
DIAGRAMA IZOLUX
3D
DISTRIBUTIA ILUMINARILOR TOTALE [lx] Plan orizontal

Fig. 9. 9 Curbe izolux pentru situaţia din figura 9.5.

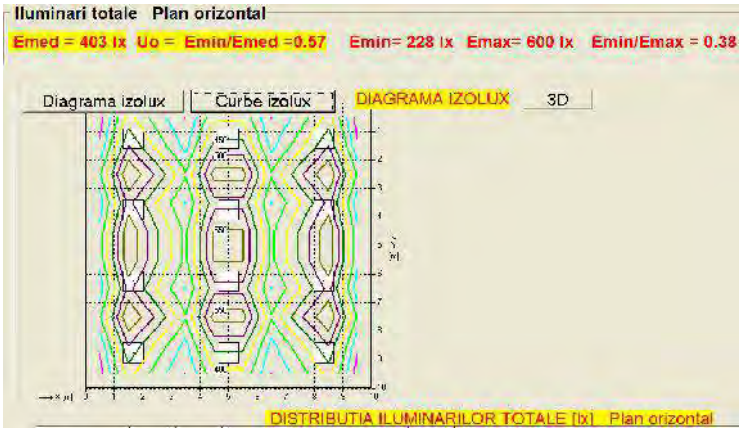

Iluminari totale Plan orizontal
Emed = 403 lx Uo = Emin/Emed =0.57 Emin= 228 lx Emax= 600 lx Emin/Emax = 0.38
Diagrama izolux
Curbe izolux
DIAGRAMA IZOLUX
3D
DISTRIBUTIA ILUMINARILOR TOTALE [lx] Plan orizontal

Fig. 9. 10 Curbe izolux pentru situaţia din figura 9.7.

În final se apasă butonul *Salvare* de pe bara cu butoane, operaţie în urma căreia se cere şi se scrie un nume ales pentru fişierul respectiv.

În figurile 9.7 şi 9.8 sunt redate mărimile precizate în ultimele două etape după modificarea iluminării în planul de lucru la valoarea de 350 lx. Se observă că numărul AIL a scăzut de la 16 la 12, rezultând evident şi o altă amplasare. Se observă că uniformitatea iluminării s-a modificat, fiind caracterizată prin factori de uniformitate mai mici (*Fig. 9.9* şi *Fig. 9.10*).

În figura 9.11 este redat un exemplu de calcul al iluminatului interior cu aranjament asimetric al corpurilor de iluminat, pentru un birou. Fişierul-exemplu este dat de autorii aplicaţiei, şi se poate deschide cu ajutorul

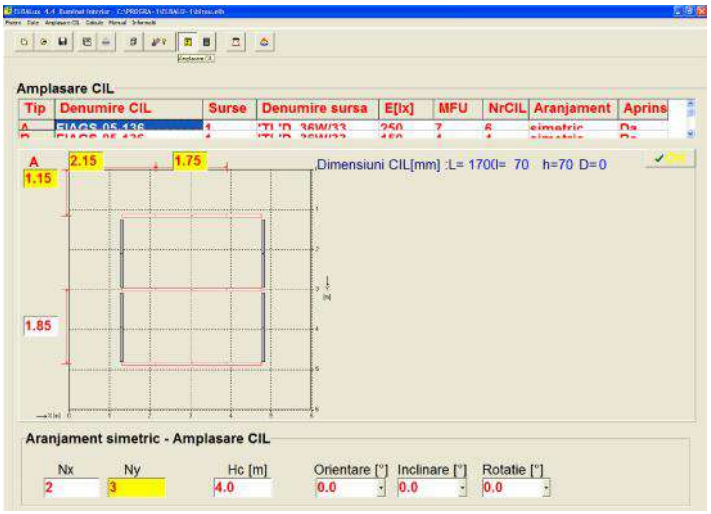


Fig. 9. 11 Exemplu de calcul interior: iluminatul unui birou.

butonului *Proiect existent* sau urmând calea *C:/Program Files/ELBALux44/birou.elb.*

9.2.2. Calcul unui sistem de iluminat suprafeţe cu ELBALux 4.4

Lansarea aplicaţiei se face similar ca în cazul anterior, dar cu ajutorul butonului *Iluminat suprafeţe.*

Se stabilesc lungimea *L* şi lăţimea *l* a suprafeţei, precum şi distanţa de la sol la planul util H_u, în [m]; în general, în asemenea cazuri această distanţă se consideră egală cu zero. Pentru exemplificare, s-a deschis fişierul existent *alee.elb*, urmând aceeaşi modalitate ca mai sus (*Proiect existent* sau *C:/Program Files/ELBALux44/alee.elb*).

Paşii următori sunt similari cu cei de la § 9.2.1. Calcul unui sistem de iluminat interior cu ELBALux 4.4. Valoarea iluminării din planul de lucru este fixată de program, presupunând o anumită activitate. Din etapele parcurse de proiect, prin faptul că se ia în calcul un indice al încăperii I_c şi un factor de utilizare se subînţelege că aria respectivă ar fi închisă. În consecinţă, aplicaţia foloseşte metoda factorului de utilizare.

Astfel, se trece la alegerea aparatelor de iluminat corespunzătoare unui asemenea proiect: aparate de iluminat speciale pentru iluminat ornamental exterior (*Fig. 9.12*). În exemplul dat s-a ales Olimp CR produs de către firma Philips, echipat cu o sursă HPL-Comfort, cu o putere electrică de 125 W, un flux luminos de 6.700 lm (53,6 lm/W), cu soclu E27 şi temperatura de culoare de 3.400 K.

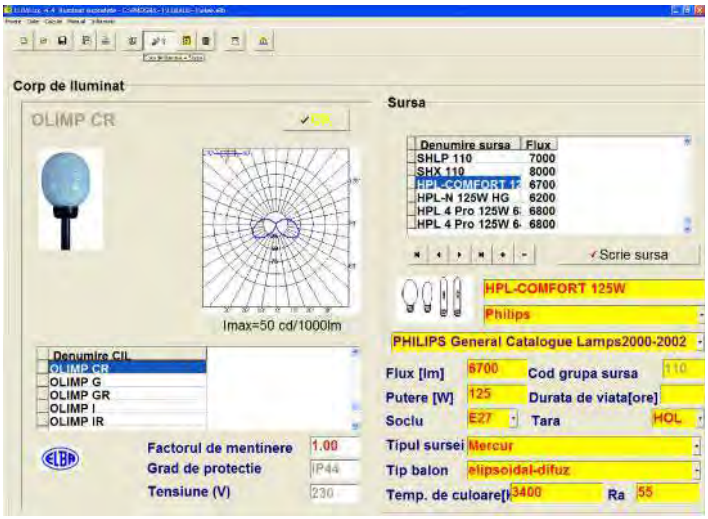


Fig. 9. 12 Alegerea AIL pentru iluminatul exterior al unei suprafeţe (alee).

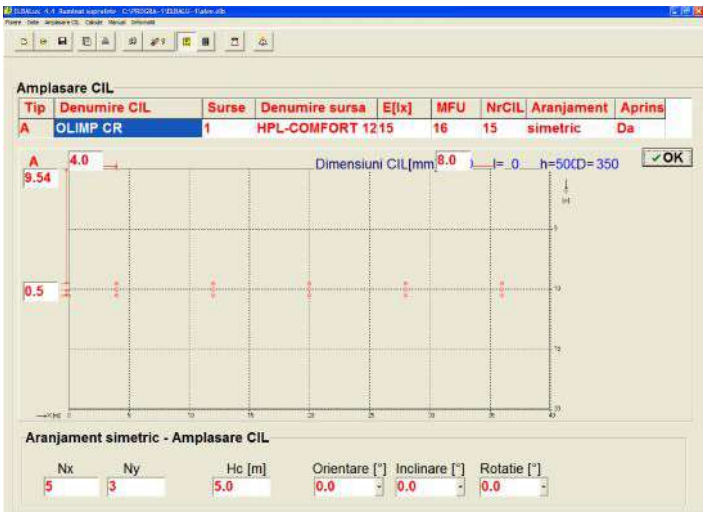

Amplasare CIL
Tip Denumire CIL Surse Denumire sursa E[lx] MFU NrCIL Aranjament Aprins
A OLIMP CR 1 HPL-COMFORT 1215 16 15 simetric Da
Dimensiuni CIL[mm] 8.0 l= 0 h=50 D= 350
OK
4.0
9.54
0.5
Aranjament simetric - Amplasare CIL
Nx Ny Hc [m] Orientare [°] Inclinare [°] Rotatie [°]
5 3 5.0 0.0 0.0 0.0

Fig. 9. 13 Amplasarea AIL în cazul aleei.

Cu ajutorul butonului *Amplasare CIL* (*Fig. 9.13*) se realizează dispunerea corpurilor de iluminat în configuraţia dorită: în acest caz, *Aranjament simetric*, *Nr. CIL=15*, la o distanţă între ele de 4 m şi dispuse la înălţimea (aparatelor) *Hc=5 m.* Urmează etapa amplasării punctelor de calcul (grila de calcul) pentru suprafaţa deja stabilită.

Ultima etapă este efectuarea calculelor şi afişarea acestora (*Fig. 9.14*, *Fig. 9.15*). În figura 9.15 se prezintă distribuţia iluminărilor totale calculate, în mod tabelar şi cu ajutorul diagramei izolux.

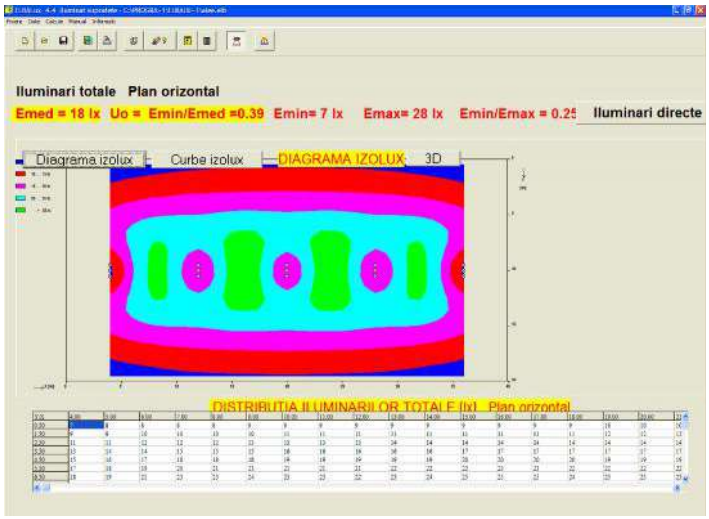

Iluminari totale Plan orizontal
Emed = 18 lx Uo = Emin/Emed =0.39 Emin= 7 lx Emax= 28 lx Emin/Emax = 0.25
Iluminari directe
Diagrama izolux
Curbe izolux
DIAGRAMA IZOLUX
3D
DISTRIBUTIA ILUMINARILOR TOTALE (lx) Plan orizontal

Fig. 9. 14 Diagrama izolux a iluminărilor calculate.

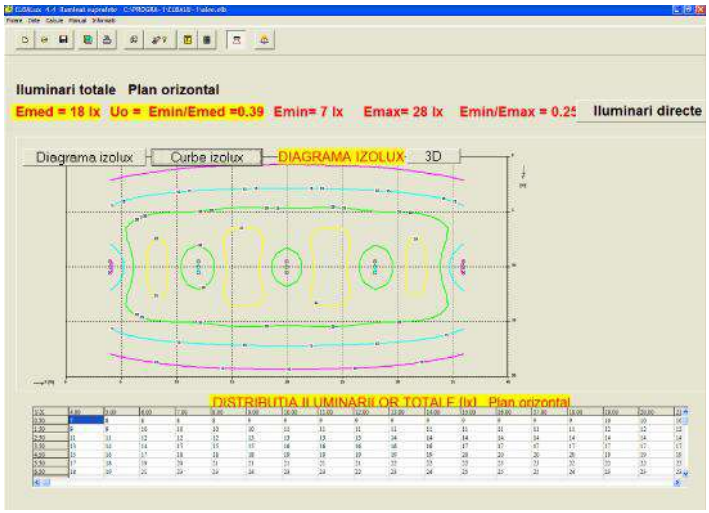

Iluminari totale Plan orizontal
Emed = 18 lx Uo = Emin/Emed =0.39 Emin= 7 lx Emax= 28 lx Emin/Emax = 0.25
Iluminari directe
Diagrama izolux
Curbe izolux
DIAGRAMA IZOLUX
3D
DISTRIBUTIA ILUMINARILOR TOTALE (lx) Plan orizontal

Fig. 9. 15 Curbele izolux ale iluminărilor calculate.

Dacă după efectuarea calculelor rezultatele obţinute nu sunt satisfăcătoare, în sensul că iluminarea medie nu se încadrează în clasa de iluminat aleasă (conform standardului român SR 13433-1999, echivalent cu norma CIE 115-1995 – Recomandări în iluminatul stradal pentru Trafic auto şi pietonal), este necesar ca acestea să fie reluate. Pentru a se ajunge cât mai uşor la rezultatele dorite se pot modifica mai mulţi parametrii ai proiectului: tipul aparatului de iluminat, tipul sursei (lămpii) şi/sau puterea electrică a acesteia,

În concluzie, pe de-o parte, rezultatele calculelor de proiectare a

sistemelor de iluminat obţinute cu ajutorul programului ELBALux au o acurateţe destul de ridicată. Pe de altă parte, având în vedere faptul că ultima versiune a programului a fost realizată în anul 2005, se pune problema cât de actuale mai sunt normativele după care programul realizează calculele cerute de către utilizator.

9.3. Aplicaţia Relux

Suita Relux[65] – Light Simulation Tools (Unelte de simulare a iluminării) conţine mai multe pachete software. Versiunea 2010-1.2 este ultima versiune apărută. Aplicaţiile cele mai importante ale suitei sunt: ReluxPro, Tunnel, Relux Raytracing Calculation, ReluxEnergy, ReluxOffer, ReluxCAD şi ReluxTools.

ReluxPro este pus la dispoziţia utilizatorilor gratuit, dar trebuie activat în cel mult 30 de zile de la instalare, prin intermediul unei conexiuni la internet. Se poate trimite şi adresa de e-mail a utilizatorului, dacă se doreşte primirea de noutăţi de la firma producătoare[66] (*Fig. 9.16*).

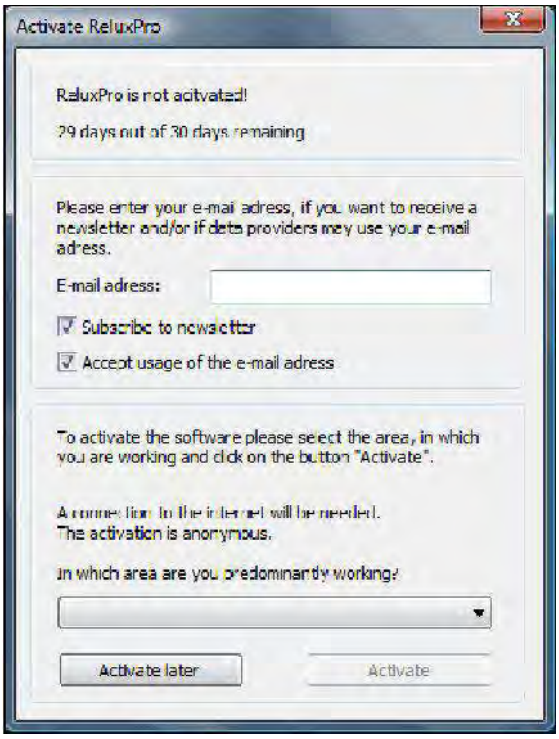

Activate ReluxPro
ReluxPro is not acitvated!
29 days out of 30 days remaining
Please enter your e-mail adress, if you want to receive a newsletter and/or if data providers may use your e-mail adress.
E-mail adress:
Subscribe to newsletter
Accept usage of the e-mail adress
To activate the software please select the area, in which you are working and click on the button "Activate".
The activation is anonymous.
In which area are you predominantly working?
Activate later
Activate

Fig. 9. 16 Fereastra de activare a programului ReluxPro.

Pentru pachetul ReluxCAD (un *PlugIn* pentru programul Autocad al firmei Autodesk) este nevoie de o licenţă, care se obţine de asemenea prin activarea cu ajutorul internetului. ReluxTunnel rulează cu ajutorul unui stick de memorie USB, care poate fi comandat de la Relux Informatik AG.

Instalarea pachetului se face uşor, direct din fişierul care se poate descărca de la adresa web

[65] http://www.relux.biz, www.relux.ch
[66] Relux Informatik AG, Switzerland.

http://www.relux.biz. Este necesar a se specifica ţara unde utilizatorul face instalarea. În fereastra următoare se va alege calea instalării; în mod implicit, aceasta este *C:\Program Files\ReluxSuite*.

După finalizarea instalării se va alege limba pentru interfaţa cu utilizatorul, pentru baza de date şi pentru ieşirile ulterioare. Oricum, aceste setări se pot modifica ulterior, din meniul *Extras → Language*.

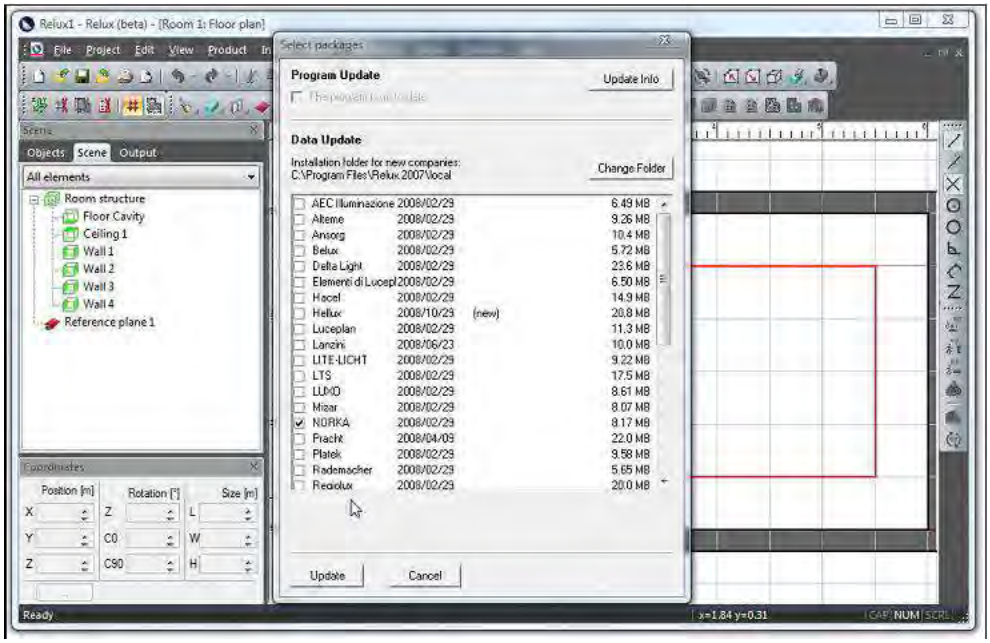


Fig. 9. 17 Fereastra „Select packages" pentru actualizări ale Relux.

De asemenea, după ce s-a încheiat procesul de instalare este recomandată actualizarea ReluxPro, precum şi a bazei de date cu firmele care fabrică aparate de iluminat, bază de date care se instalează din opţiunea *Help - Online Update*; desigur, este necesară o conexiune la internet.

După alegerea actualizărilor dorite, selectate în mod individual (*Fig. 9.17* – Fereastra *"Select packages" – Selectarea pachetelor*), programul face actualizările dorite de către utilizator. La prima lansare a programului observăm o interfaţă prietenoasă, care poate fi schimbată în mod interactiv, între *Standard Layout* sau *Window Extended Layout* (*Fig. 9.18*): *machetă standard sau extinsă*.

La lansarea aplicaţiei se deschide o fereastră ce cuprinde următoarele opţiuni: *New Project – Proiect nou (Interior, Exterior, Road – Stradă), Assistents – Asistenţi de proiectare (Relux Express, CAD Import)*. De asemenea, se poate alege din sub-meniul *Examples* un proiect-model.

Datorită interfeţei prietenoase şi uşor de utilizat, utilizatorul (cu condiţia de a dispune de cunoştinţe solide în domeniul iluminatului) poate

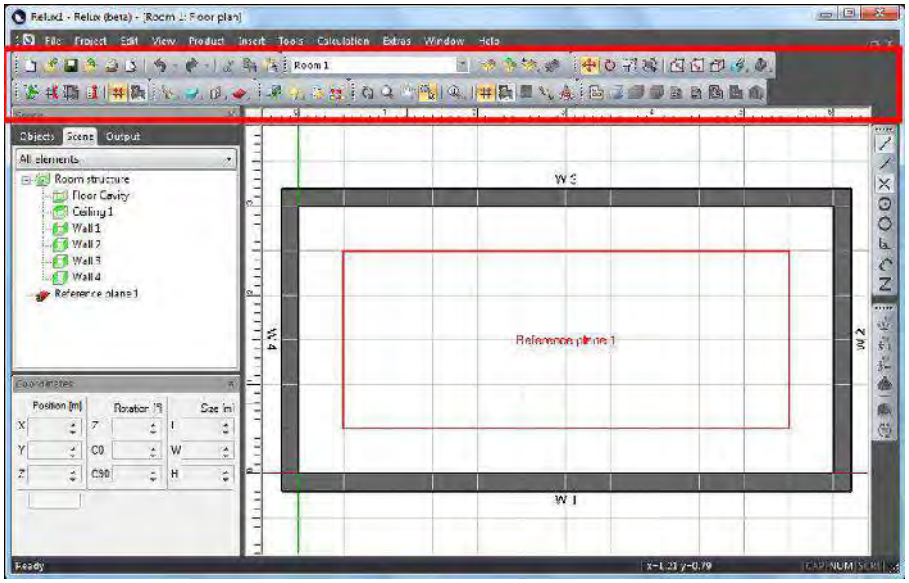


Fig. 9. 18 Macheta standard sau extinsă a suitei Relux.

trece direct la realizarea diverselor proiecte pentru sisteme de iluminat.

În figura 9.19 este redată fereastra Relux înainte de efectuarea de către aplicaţie a calculelor pentru un sistem de iluminat stradal, iar în figura 9.20 momentul în care se face calculul unui sistem de iluminat interior pentru

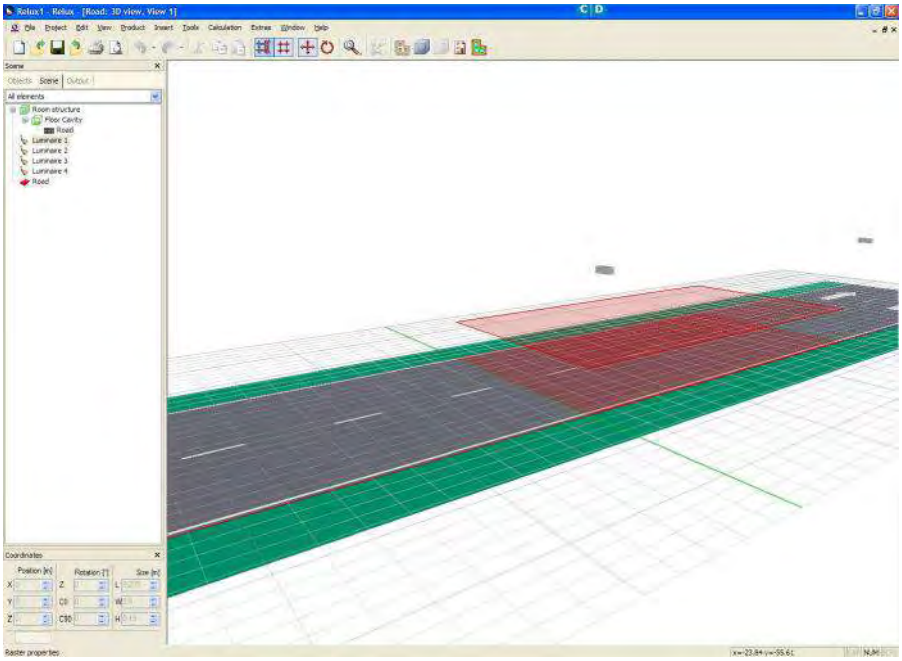


Fig. 9. 19 Efectuarea calculelor pentru un sistem de iluminat stradal.

unul dintre fişierele şablon ale programului, *Studio.rdf*, aflat în directorul *C:\Program Files\ReluxSuite\Examples.*

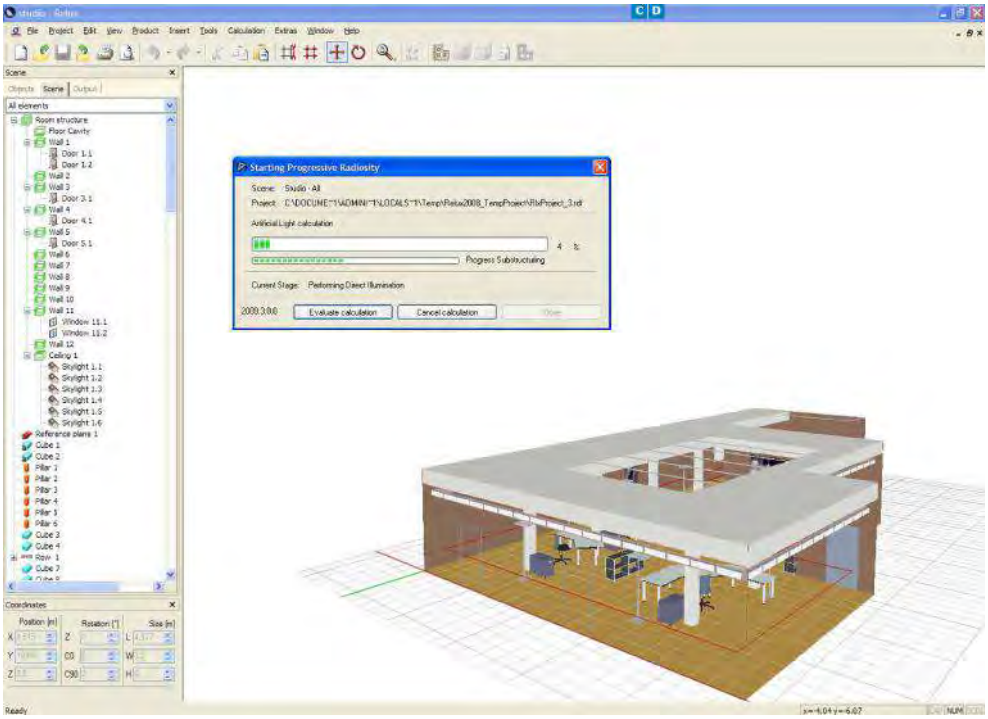


Fig. 9. 20 Calcularea unui sistem de iluminat interior (Studio.rdf).

9.4. Aplicaţia DIALux

În continuare va fi prezentată pe scurt aplicaţia DIALux (versiunea 4.7). Această aplicaţie gratuită pentru calculul sistemelor de iluminat poate fi descărcată de pe mai multe pagini web (dovadă a faptului că este apreciată de proiectanţii din domeniul iluminatului), dar pagina proprie este http://www.dial.de; de aici se poate alege şi versiunea corespunzătoare limbii materne a viitorului utilizator (sunt disponibile 22 de limbi de largă circulaţie, inclusiv limba română).

După download-ul pachetului de instalare şi după instalarea aplicaţiei (de regulă în directorul *C:\Program Files\DIALux*), lansarea ei se poate face imediat. La lansare, DIALux permite alegerea tipului de proiect ce se doreşte a fi executat: de interior (săli, birouri, camere etc.), exterior, stradal, sau se poate apela la un *Asistent*, cu ajutătorul căruia proiectarea poate deveni chiar facilă (*Fig. 9.21* – se observă interfaţa în limba română).

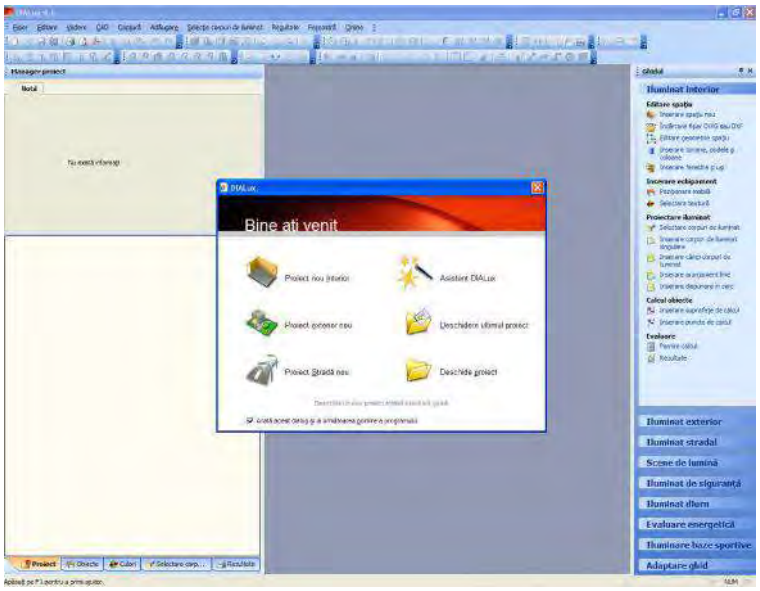


Fig. 9. 21 Fereastra de lansare a programului DIALux.

9.4.1. Calcul unui sistem de iluminat interior cu DIALux

În cazul alegerii unui proiect de interior etapele de proiectare se

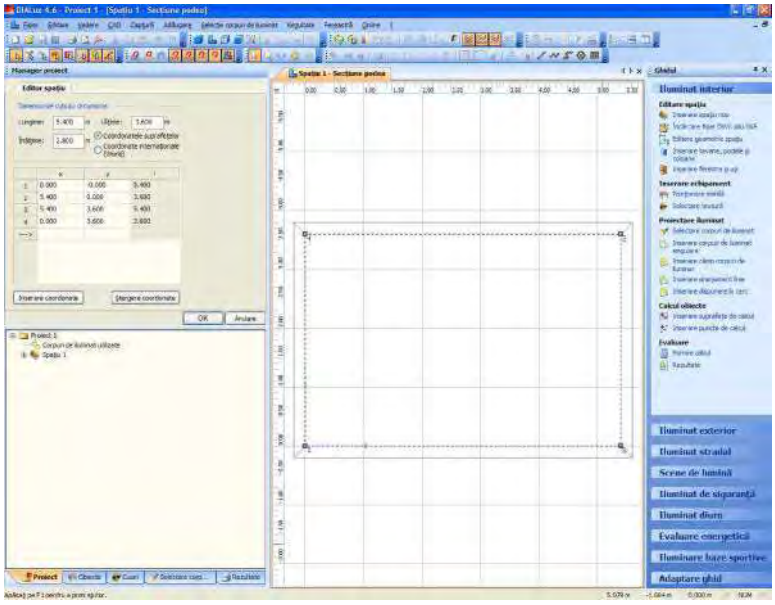


Fig. 9. 22 Alegerea spaţiului pentru un proiect de interior.

parcurg cu mare uşurinţă: alegerea spaţiului interior (*Fig. 9.22*), alegerea aparatelor de iluminat (*Fig. 9.23*). Dimensiunile spaţiului ales deja se pot modifica foarte uşor ulterior (*Fig. 9.24*).

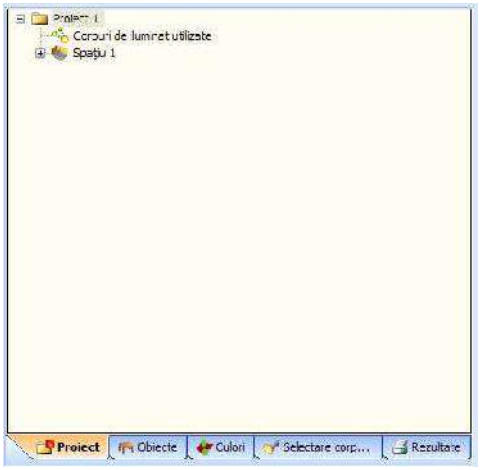


Fig. 9. 23 Alegerea AIL.

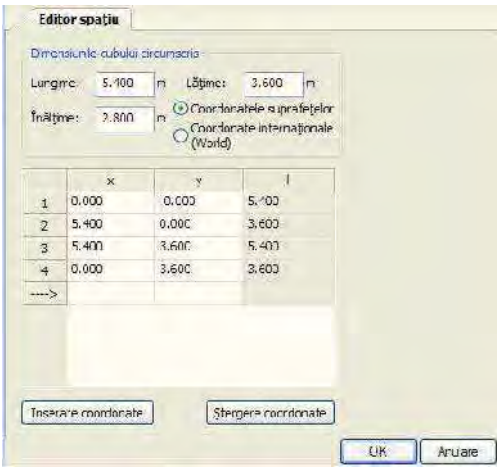


Fig. 9. 24 Editorul de spaţiu.

În spaţiul de interes se pot adăuga diverse elemente (*Fig. 9.25*): corpuri de diverse forme, ferestre şi uşi, diverse elemente de mobilier.

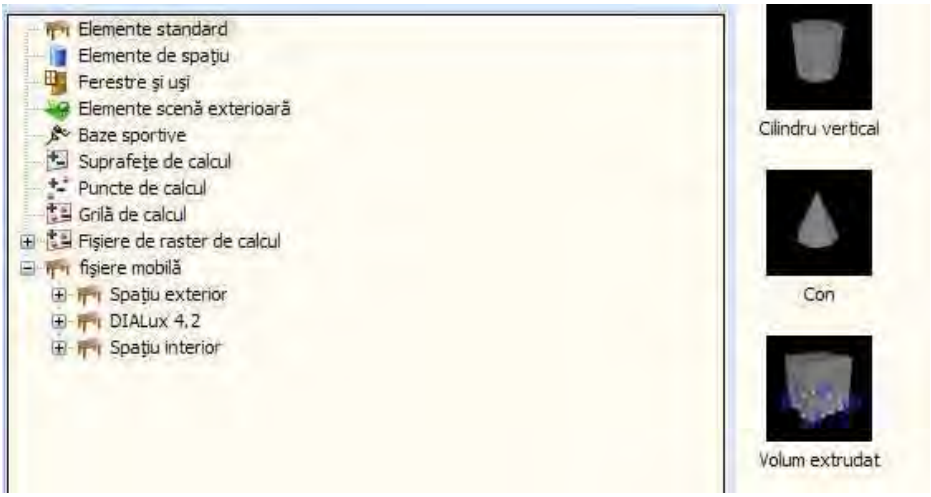
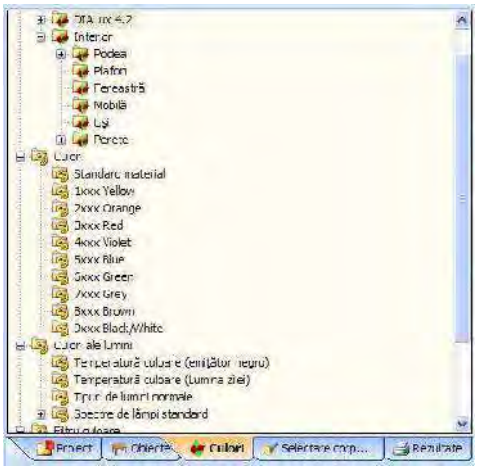


Fig. 9. 25 Elemente de spaţiu care se pot adăuga.

Aplicaţia DIALux permite o foarte largă alegere a detaliilor, inclusiv a culorilor diverselor elemente din proiect (*Fig. 9.26*).

Următoarea etapă este alegerea aparatelor de iluminat (*Fig. 9.27*). Această selecţie se poate face (*Fig. 9.28*) din diverse cataloage, care pot fi instalate în aplicaţie sau accesate on-line, cu condiţia existenţei unei legături

la internet. Numărul cataloagelor oferite de diverse firme producătoare de aparate de iluminat şi/sau surse de lumină creşte constant.



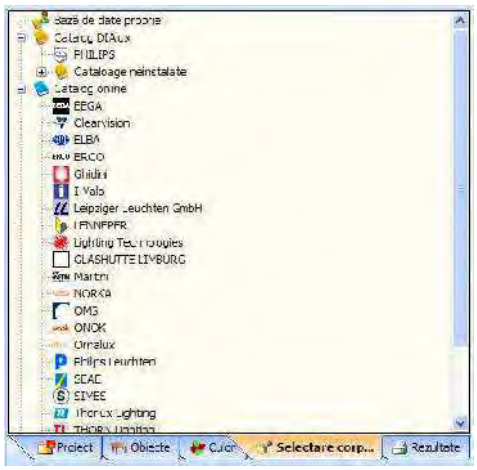


Fig. 9. 26 Alegerea culorilor elementelor. *Fig. 9. 27 Alegerea cataloagelor.*

În figura 9.28 se observă posibilitatea de a introduce în spaţiu

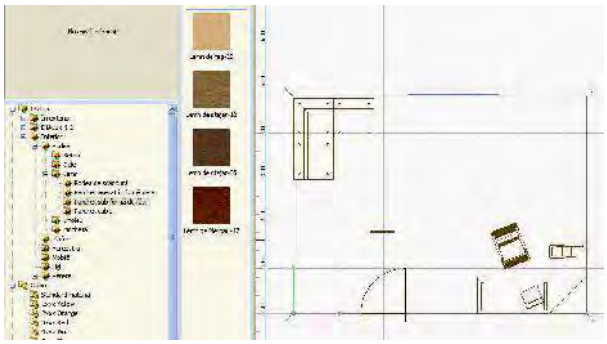


Fig. 9. 28 Adăugarea diverselor elemente de interior.

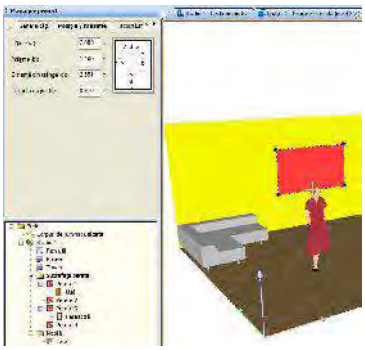


Fig. 9. 29 Adăugarea persoanelor.

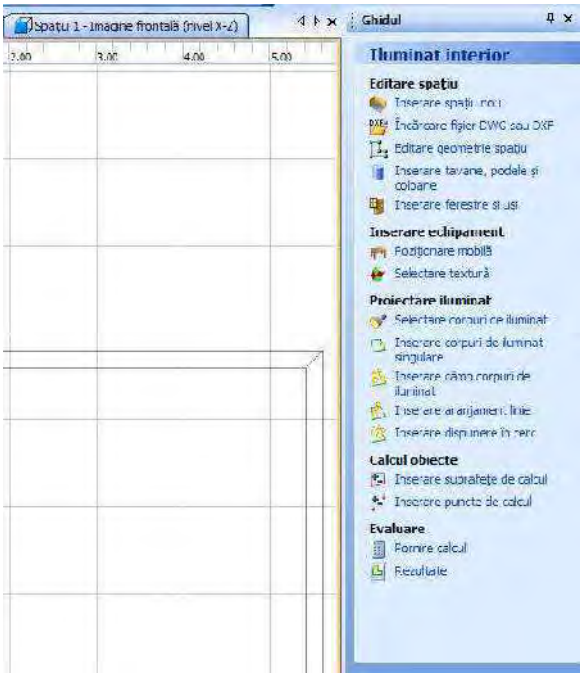


Fig. 9. 30 Ghidul aplicaţiei.

(încăpere) diverse elemente de mobilier şi chiar „persoane”, care însă din păcate sunt reprezentate 2D şi nu 3D – *Fig. 9.29*.

De mare ajutor se poate dovedi *Ghidul* aplicaţiei (*Fig. 9.30*), la care se poate apela în orice moment. Acesta permite modificarea cu mare uşurinţă a elementelor deja introduse în proiect sau adăugarea altor elemente noi.

În final, se trece la *Evaluare – Fig. 9.30*, adică la efectuarea de către aplicaţie a calculelor sistemului de iluminat.

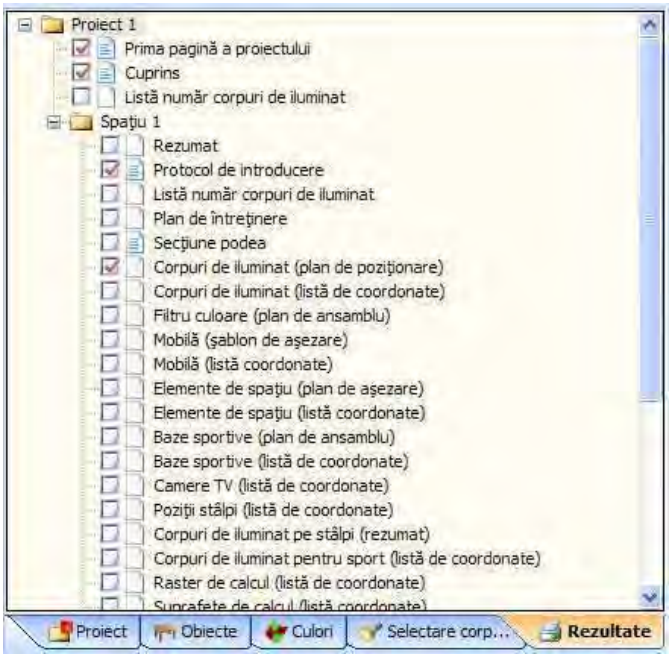


Fig. 9. 31 Lista rezultatelor calculelor.

După ce calculele au fost efectuate, utilizatorul poate alege dintr-o listă vastă (*Fig. 9.31*) care dintre ele vor fi afişate, salvate, listate sau chiar exportate în format Adobe PDF, devenind astfel disponibile şi pentru utilizatori care nu au instalată aplicaţia DIALux pe calculator.

9.4.2. Calcul unui sistem de iluminat stradal cu DIALux

Aplicaţia DIALux dispunde de un *Asistent* pentru o proiectare facilă şi rapidă a sistemelor de iluminat (*Fig. 9.32*), un instrument foarte util, mai ales pentru începătorii în proiectarea sistemelor de iluminat.

Asistent proiectare rapidă
Bine aţi venit la asistentul de proiectare rapidă.
Acest asistent vă ajută să faceţi o proiectare completă DIALux rapidă.
Pentru aceasta se urmează următorii paşi
Introducerea informaţiilor despre spaţiu
Alegerea şi poziţionarea corpurilor de iluminat
Calculul rezultatelor
< Înapoi
Următorul >
Revocare

Fig. 9. 32 Asistentul de proiectare rapidă al DIALux.

Acesta urmează pas-cu-pas etapele necesare pentru proiectarea unui sistem de iluminat stradal.

În figura 9.33 este redată alegerea elementelor unei străzi, care poate conţine trotuare, piste pentru biciclişti, două sensuri de mers pentru autovehicule (cu una, două sau mai multe benzi fiecare – lucru foarte util la proiectarea sistemelor de iluminat pentru autostrăzi), o linie mediană etc.

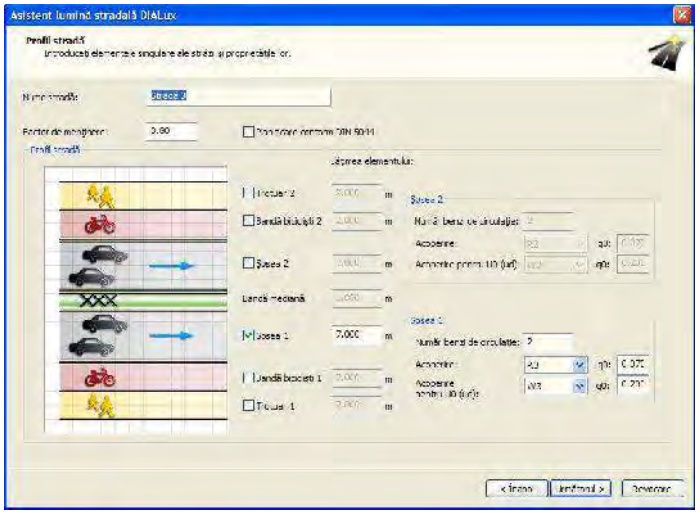
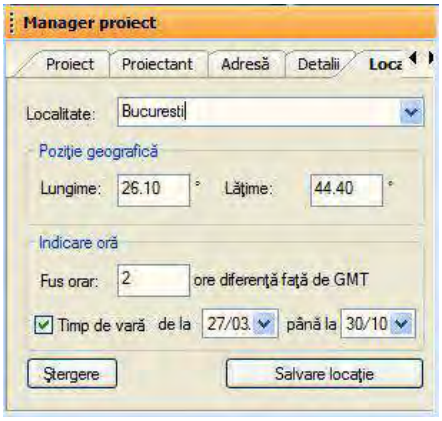


Fig. 9. 33 Alegerea elementelor străzii.

Tuturor acestor elemente li se pot asimila diverse caracteristici: lăţimea,

materialul cu care sunt acoperite etc.



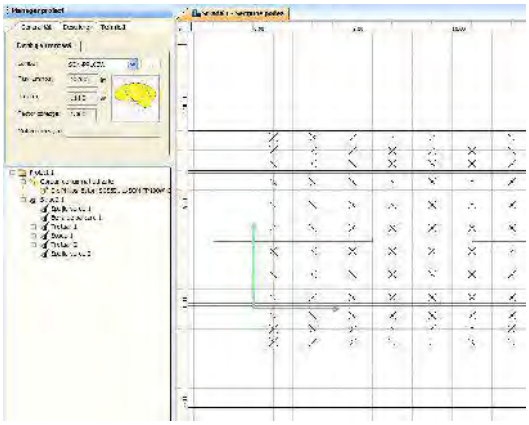
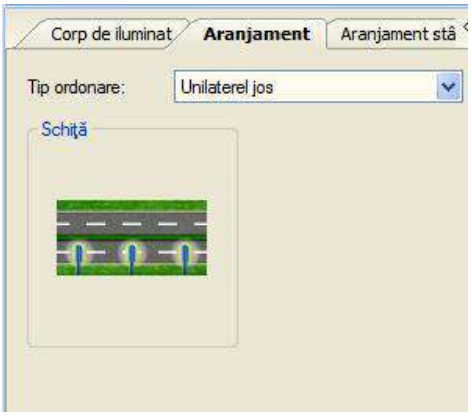


Fig. 9. 34 Alegerea locaţiei. *Fig. 9. 35 Secţiunea plană (orizontală).*

O facilitate importantă a aplicaţiei o reprezintă posibilitatea alegerii locaţiei (localităţii) pentru care se face proiectarea. Acest fapt este util în proiectele efectuate pentru situaţia în care se ia în calcul şi lumina diurnă (*Fig. 9.34*).

În figura 9.35 este redată o secţiune plană (orizontală) la nivelul străzii, cu evidenţierea punctelor de calcul.



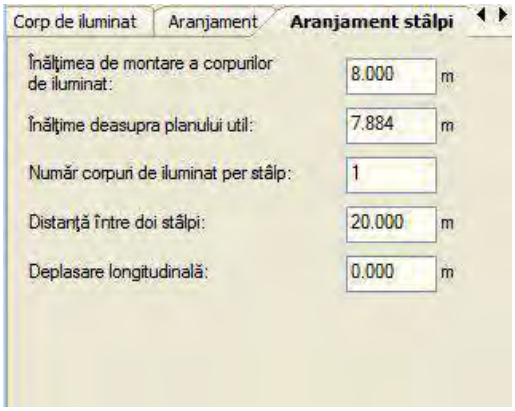


Fig. 9. 36 Aranjamentul stâlpilor. *Fig. 9. 37 Caracteristicile stâlpilor.*

În continuare, se trece la dispunerea stâlpilor pentru iluminat; aceştia pot fi aranjaţi în diverse moduri: unilateral (sus, sau jos – *Fig. 9.36*), sau bilateral (pe ambele părţi ale străzii), având două posibilităţi: faţă-în-faţă sau alternant.

După dispunerea stâlpilor, următoarea etapă o reprezintă aranjamentul aparatelor de iluminat (*Fig. 9.37*); se pot defini înălţimea de montare a AIL, numărul de aparate pe stâlp, distanţa dintre stâlpi etc.

În mediul urban, dar nu numai, aparatele de iluminat sunt montate pe majoritatea stâlpilor de iluminat stradal cu ajutorul unor aşa-numite „cârje” sau console. Dimensiunile acestora (lungimea *a* şi unghiul de înclinare *b*), precum şi alte elemente (distanţa dintre fundaţia stâlpului şi stradă sau unghiul de rotaţie – *Fig. 9.38*) au o mare importanţă în proiectarea unui sistem de iluminat stradal.

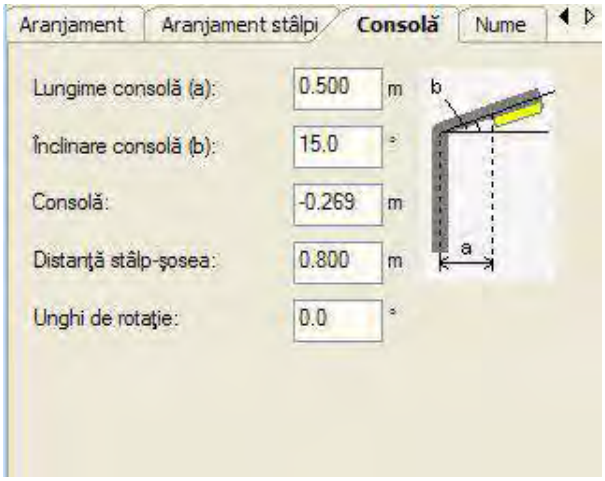


Fig. 9. 38 Dimensionarea consolei.

În figura 9.39 este redată o reprezentare tridimensională a străzii proiectate, cu elementele alese:

– cele două sensuri de mers, asfaltate,

– două piste pentru biciclişti, betonate,

– un trotuar, construit cu dale,

– două zone verzi, care încadrează strada.

Se observă şi dispunerea AIL şi curbele fotometrice ale acestora, reprezentate de asemenea spaţial.

În final, aplicaţia trece, la solicitarea utilizatorului, după ce toate elementele au fost definitivate, la efectuarea calculelor (*Fig. 9.40*).

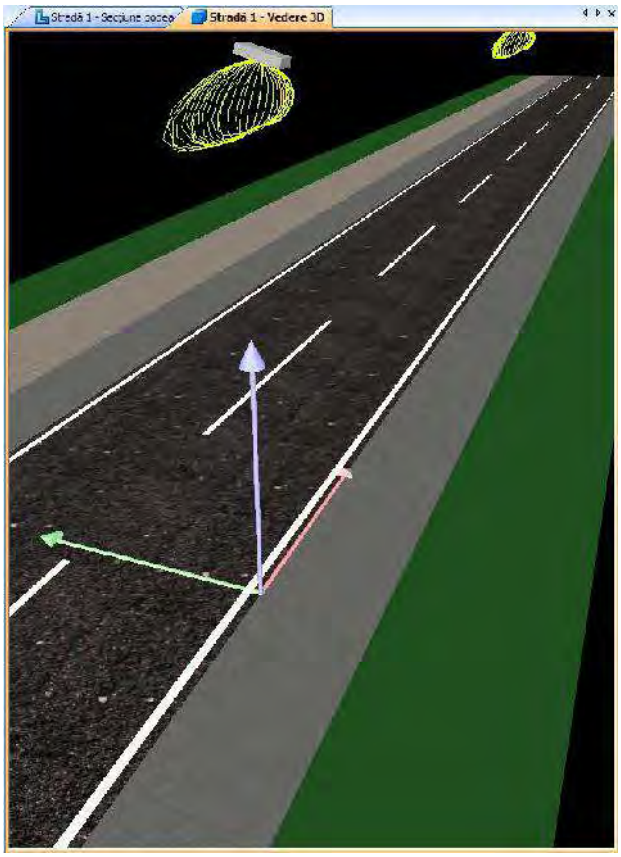


Fig. 9. 39 Reprezentarea 3D a străzii.

După finalizarea calculelor sistemului de iluminat, utilizatorul poate decide care dintre acestea vor fi (*Fig. 9.41*) afişate pe monitor, salvate, listate sau chiar exportate în format Adobe™ PDF©, devenind astfel disponibile şi pentru utilizatori care nu au instalată aplicaţia DIALux pe calculatorul propriu.

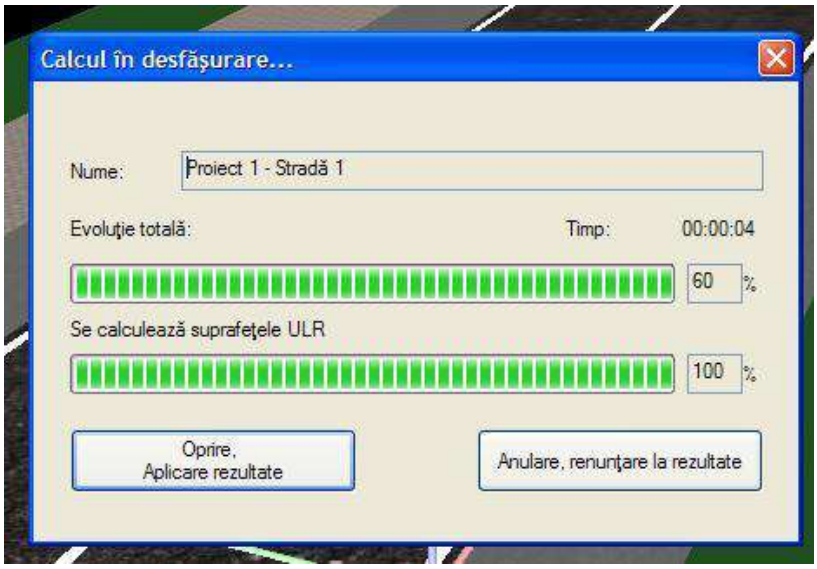


Fig. 9. 40 Desfăşurarea calculelor.

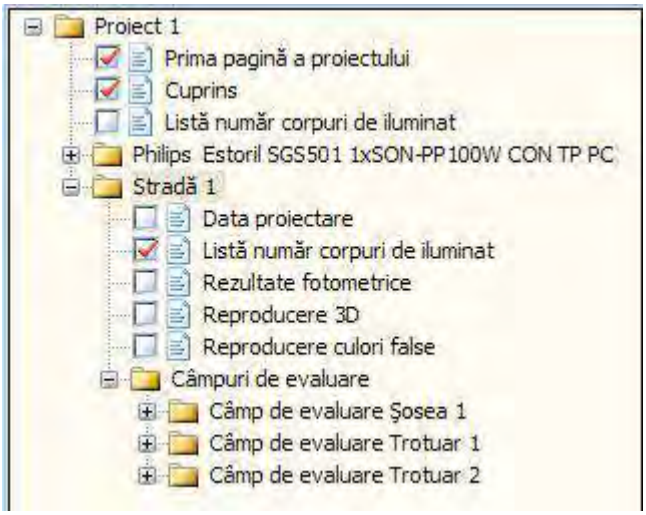


Fig. 9. 41 Alegerea calculelor ce se vor afişa, imprima, salva.

În continuare, vor fi prezentate detaliat rezultatele obţinute pentru un proiect al unui sistem de iluminat stradal folosind programul DIALux.

Calea Orşovei

250 W

Reprezentant:
Contract nr.:
Achizitor:
Proiect: 122

Data: 04.08.2006
Proiectant:: Florin Pomoja

Calea Orşovei DIALux
04.08.2001

UEM Resita
Facultatea de Inginerie
Resita, 320085
Piata Traian Vuia 1-4

Proiectant: Florin Pomoja
Telefon
Fax
e-mail f.pomoja@uem.ro

Cuprins

Calea Orşovei
Prima pagină a proiectului 1
Cuprins 2
Calea Orşovei
Data proiectare 3
Rezultate fotometrice 4
Câmpuri de evaluare
Trotuar dreapta
Privire de ansamblu a rezultatelor 6
Izolinii (E) 7
Grafic valori (E) 8
Tabel (E) 9
Trotuar stânga
Privire de ansamblu a rezultatelor 10
Izolinii (E) 11
Grafic valori (E) 12
Tabel (E) 13
Carosabil
Privire de ansamblu a rezultatelor 14
Izolinii (E) 15
Nuanţe de gri (E) 16
Grafic valori (E) 17
Tabel (E) 18
Observator
Obsevator 1
Izolinii (L) 19
Nuanţe de gri (L) 20
Observer 2
Izolinii (L) 21
Nuanţe de gri (L) 22

Calea Orşovei DIALux
04.08.2006

UEM Resita
Facultatea de Inginerie
Resita, 320085
Piata Traian Vuia 1-4

Proiectant: Florin Pomoja
Telefon
Fax
e-mail f.pomoja@uem.ro

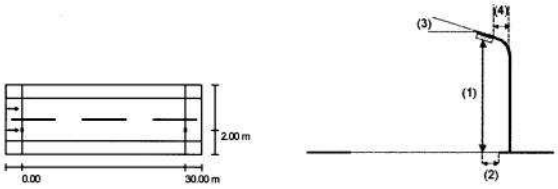
Calea Orşovei / Data proiectare

Profil stradă

Trotuar st (Lăţime: 2.500 m)
Carosabil (Lăţime: 8.000 m, Număr benzi de circulaţie: 2, acoperire: R3, q0: 0.070)
Trotuar dr (Lăţime: 2.500 m)

Factor de menţinere: 0.57

Dispunere corpuri de iluminat



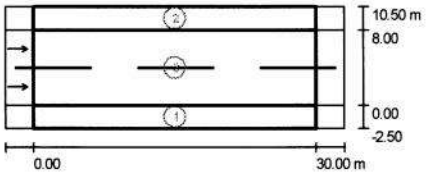
Corp de iluminat:	Philips Malaga SGS102 1xSON-TPP250W		
Flux luminos corpuri de iluminat:	33200 lm	Valori maxime ale intensităţii luminoase	
Putere corpuri de iluminat:	276.0 W	la 70°:	192 cd/klm
Aranjament:	Unilaterel jos	la 80°:	94 cd/klm
Distanţă stâlp:	30.000 m	la 90°:	37 cd/klm
Înălţime de montare (1):	9.500 m	Orice direcţie ce formează unghiul dat cu verticala în jos a corpurilor de iluminat instalate pentru utilizare.	
Înălţimea deasupra planului util:	9.204 m		
Consolă (2):	2.108 m	Aranjamentul respectă clasa de intensitate luminoasă	
Înclinare consolă (3):	20.0 °	G1.	
Lungime consolă (4):	2.000 m	Aranjamentul respectă clasa cu indici de orbire D.4.	

Calea Orşovei DIALux
04.08.2008

UEM Resita
Facultatea de Inginerie
Resita, 320085
Piata Traian Vuia 1-4

Proiectant: Florin Pomoja
Telefon
Fax
e-mail f.pomoja@uem.ro

Calea Orşovei / Rezultate fotometrice



Factor de menţinere: 0.57 Scară 1:500

Listă suprafaţă de calcul

1 Trotuar dreapta
Lungime: 30.000 m, Lăţime: 2.500 m
Raster: 10 x 3 Puncte
Elemente de stradă ataşate: Trotuar dr.
Clasa de iluminare selectată: CE5 (Toate cerinţele fotometrice sunt îndeplinite.)

	E_m [lx]	U0
Valori calculate:	14.1	0.5
Valori necesare conform clasei:	≥ 7.5	≥ 0.4
Îndeplinit/Neîndeplinit:	✓	✓

Calea Orşovei

DIALux
04.08.2008

UEM Resita
Facultatea de Inginerie
Resita, 320085
Piata Traian Vuia 1-4

Proiectant: Florin Pomoja
Telefon
Fax
e-mail f.pomoja@uem.ro

Calea Orşovei / Rezultate fotometrice

Listă suprafaţă de calcul

2 Trotuar stânga
Lungime: 30.000 m, Lăţime: 2.500 m
Raster: 10 x 3 Puncte
Elemente de stradă ataşate: Trotuar st.
Clasa de iluminare selectată: CE5

(Toate cerinţele fotometrice sunt îndeplinite.)

	E_m [lx]	U0
Valori calculate:	17.8	0.6
Valori necesare conform clasei:	≥ 7.5	≥ 0.4
Îndeplinit/Neîndeplinit:	✓	✓

3 Carosabil
Lungime: 30.000 m, Lăţime: 8.000 m
Raster: 10 x 6 Puncte
Elemente de stradă ataşate: Carosabil.
acoperire: R3, q0: 0.070
Clasa de iluminare selectată: ME2

(Toate cerinţele fotometrice sunt îndeplinite.)

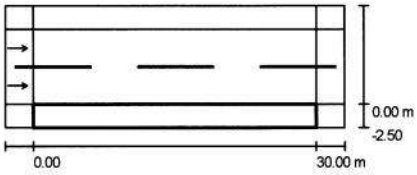
	L_m [cd/m²]	U0	Ul	TI [%]	SR
Valori calculate:	1.5	0.6	0.7	10	0.5
Valori necesare conform clasei:	≥ 1.5	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 10	≥ 0.5
Îndeplinit/Neîndeplinit:	✓	✓	✓	✓	✓

Calea Orşovei DIALux
04.08.200

UEM Resita
Facultatea de Inginerie
Resita, 320085
Piata Traian Vuia 1-4

Proiectant: Florin Pomoja
Telefon
Fax
e-mail f.pomoja@uem.ro

Calea Orşovei / Trotuar dreapta / Privire de ansamblu a rezultatelor



Factor de menţinere: 0.57 Scară 1:500

Raster: 10 x 3 Puncte
Elemente de stradă ataşate: Trotuar dr.
Clasa de iluminare selectată: (Toate cerinţele fotometrice sunt
CE5 îndeplinite.)

	E_m [lx]	U0
Valori calculate:	14.1	0.5
Valori necesare conform clasei:	≥ 7.5	≥ 0.4
Îndeplinit/Neîndeplinit:	✓	✓

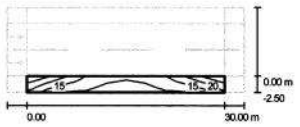
Calea Orşovei

DIALux
04.08.2008

UEM Resita
Facultatea de Inginerie
Resita, 320085
Piata Traian Vuia 1-4

Proiectant: Florin Pomoja
Telefon
Fax
e-mail f.pomoja@uem.ro

Calea Orşovei / Trotuar dreapta / Izolinii (E)



Valoare în Lux, Scară 1 : 500

Raster: 10 x 3 Puncte

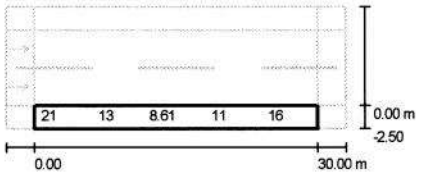
E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min}/E_{max}
14	7.10	26	0.502	0.273

Calea Orşovei DIALux
04.08.2004

UEM Resita
Facultatea de Inginerie
Resita, 320085
Piata Traian Vuia 1-4

Proiectant: Florin Pomoja
Telefon
Fax
e-mail f.pomoja@uem.ro

Calea Orşovei / Trotuar dreapta / Grafic valori (E)



Valoare în Lux, Scară 1 : 500

Nu toate valorile calculate pot fi reprezentate.

Raster: 10 x 3 Puncte

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min}/E_{max}
14	7.10	26	0.502	0.273

Calea Orşovei

DIALux
04.08.2006

UEM Resita
Facultatea de Inginerie
Resita, 320085
Piata Traian Vuia 1-4

Proiectant: Florin Pomoja
Telefon
Fax
e-mail f.pomoja@uem.ro

Calea Orşovei / Trotuar dreapta / Tabel (E)

2.083	26	21	16	12	10	10	12	16	21	26
1.250	21	16	13	11	8.61	8.61	11	13	16	21
0.417	18	11	11	9.15	7.10	7.10	9.15	11	11	18
m	1.500	4.500	7.500	10.500	13.500	16.500	19.500	22.500	26.500	28.500

Atenţie: coordonatele se referă la imaginea de mai sus. Valoare în Lux.

Raster: 10 x 3 Puncte

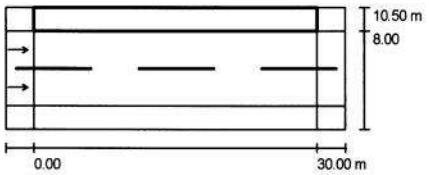
E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min}/E_{max}
14	7.10	26	0.502	0.273

Calea Orşovei DIALux
04.08.2006

UEM Resita
Facultatea de Inginerie
Resita, 320085
Piata Traian Vuia 1-4

Proiectant: Florin Pomoja
Telefon
Fax
e-mail f.pomoja@uem.ro

Calea Orşovei / Trotuar stânga / Privire de ansamblu a rezultatelor



Factor de menţinere: 0.57 Scară 1:500

Raster: 10 x 3 Puncte
Elemente de stradă ataşate: Trotuar st.
Clasa de iluminare selectată: (Toate cerinţele fotometrice sunt
CE5 îndeplinite.)

	E_m [lx]	U0
Valori calculate:	17.8	0.6
Valori necesare conform clasei:	≥ 7.5	≥ 0.4
Îndeplinit/Neîndeplinit:	✓	✓

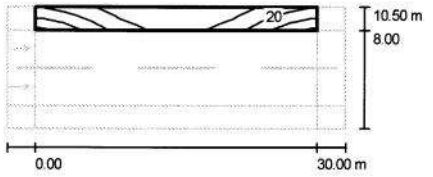
Calea Orşovei DIALux

04.08.200

UEM Resita
Facultatea de Inginerie
Resita, 320085
Piata Traian Vuia 1-4

Proiectant: Florin Pomoja
Telefon
Fax
e-mail f.pomoja@uem.ro

Calea Orşovei / Trotuar stânga / Izolinii (E)



Valoare în Lux, Scară 1 : 500

Raster: 10 x 3 Puncte

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min}/E_{max}
18	11	28	0.634	0.396

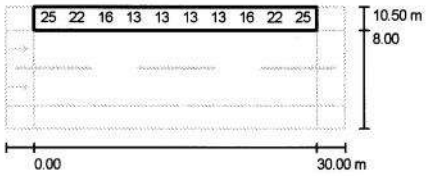
Calea Orşovei DIALux

04.08.200

UEM Resita
Facultatea de Inginerie
Resita, 320085
Piata Traian Vuia 1-4

Proiectant: Florin Pomoja
Telefon
Fax
e-mail f.pomoja@uem.ro

Calea Orşovei / Trotuar stânga / Grafic valori (E)



Valoare în Lux, Scară 1 : 500

Nu toate valorile calculate pot fi reprezentate.

Raster: 10 x 3 Puncte

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min}/E_{max}
18	11	28	0.634	0.396

Calea Orşovei

DIALux
04.08.2006

UEM Resita
Facultatea de Inginerie
Resita, 320085
Piata Traian Vuia 1-4

Proiectant: Florin Pomoja
Telefon
Fax
e-mail f.pomoja@uem.ro

Calea Orşovei / Trotuar stânga / Tabel (E)

2.083	21	19	15	12	11	11	12	15	19	21
1.250	25	22	16	13	13	13	13	16	22	25
0.417	28	25	19	15	14	14	15	19	25	28
m	1.500	4.500	7.500	10.500	13.500	16.500	19.500	22.500	25.500	28.500

Atenţie: coordonatele se referă la imaginea de mai sus. Valoare în Lux.

Raster: 10 x 3 Puncte

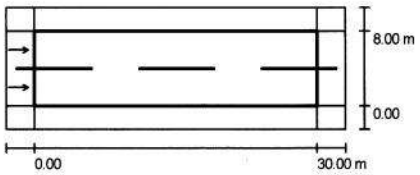
E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min}/E_{max}
18	11	28	0.634	0.396

Calea Orşovei DIALux
04.08.200

UEM Resita
Facultatea de Inginerie
Resita, 320085
Piata Traian Vuia 1-4

Proiectant: Florin Pomoja
Telefon
Fax
e-mail f.pomoja@uem.ro

Calea Orşovei / Carosabil / Privire de ansamblu a rezultatelor



Factor de menţinere: 0.57 Scară 1:500

Raster: 10 x 6 Puncte
Elemente de stradă ataşate: Carosabil.
acoperire: R3, q0: 0.070
Clasa de iluminare selectată: ME2 (Toate cerinţele fotometrice sunt îndeplinite.)

	L_m [cd/m²]	U0	Ul	TI [%]	SR
Valori calculate:	1.5	0.6	0.7	10	0.5
Valori necesare conform clasei:	≥ 1.5	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 10	≥ 0.5
Îndeplinit/Neîndeplinit:					

Observatori ataşaţi (2 Bucţti):

Nr.	Observator	Poziţie [m]	L_m [cd/m²]	U0	Ul	TI [%]
1	Obsevator 1	(-60.000, 2.000, 1.500)	1.5	0.6	0.7	10
2	Observer 2	(-60.000, 6.000, 1.500)	1.6	0.6	0.7	10

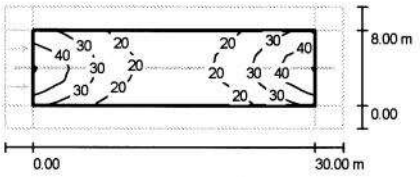
Calea Orşovei DIALux

04.08.200

UEM Resita
Facultatea de Inginerie
Resita, 320085
Piata Traian Vuia 1-4

Proiectant: Florin Pomoja
Telefon
Fax
e-mail f.pomoja@uem.ro

Calea Orşovei / Carosabil / Izolinii (E)



Valoare în Lux, Scară 1 : 500

Raster: 10 x 6 Puncte

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min}/E_{max}
26	13	47	0.487	0.271

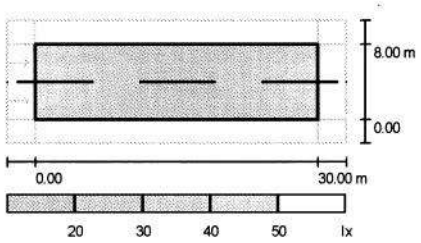
Calea Orşovei DIALux

04.08.200

UEM Resita
Facultatea de Inginerie
Resita, 320085
Piata Traian Vuia 1-4

Proiectant: Florin Pomoja
Telefon
Fax
e-mail f.pomoja@uem.ro

Calea Orşovei / Carosabil / Nuanţe de gri (E)



Scară 1 : 500

Raster: 10 x 6 Puncte

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min}/E_{max}
26	13	47	0.487	0.271

Calea Orşovei

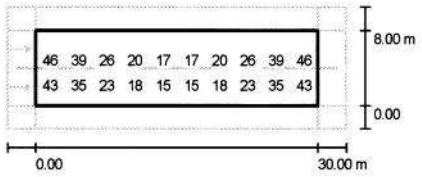
DIALux

04.08.2006

UEM Resita
Facultatea de Inginerie
Resita, 320085
Piata Traian Vuia 1-4

Proiectant: Florin Pomoja
Telefon
Fax
e-mail f.pomoja@uem.ro

Calea Orşovei / Carosabil / Grafic valori (E)



Valoare în Lux, Scară 1 : 500

Nu toate valorile calculate pot fi reprezentate.

Raster: 10 x 6 Puncte

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min}/E_{max}
26	13	47	0.487	0.271

Pagina 17

Calea Orşovei

DIALux
04.08.2006

UEM Resita
Facultatea de Inginerie
Resita, 320085
Piata Traian Vuia 1-4

Proiectant: Florin Pomoja
Telefon
Fax
e-mail f.pomoja@uem.ro

Calea Orşovei / Carosabil / Tabel (E)

7.333	34	30	21	17	15	15	17	21	30	34
6.000	41	35	24	19	16	16	19	24	35	41
4.667	46	39	26	20	17	17	20	26	39	46
3.333	47	39	26	19	17	17	19	26	39	47
2.000	43	35	23	18	15	15	18	23	35	43
0.667	34	27	19	15	13	13	15	19	27	34
m	1.500	4.500	7.500	10.500	13.500	16.500	19.500	22.500	25.500	28.500

Atenţie: coordonatele se referă la imaginea de mai sus. Valoare în Lux.

Raster: 10 x 6 Puncte

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	u0	E_{min}/E_{max}
26	13	47	0.487	0.271

Calea Orşovei

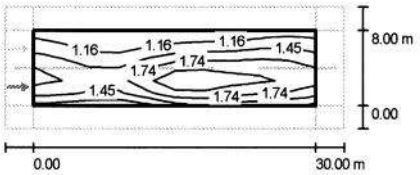
DIALux

04.08.200

UEM Resita
Facultatea de Inginerie
Resita, 320085
Piata Traian Vuia 1-4

Proiectant: Florin Pomoja
Telefon
Fax
e-mail f.pomoja@uem.ro

Calea Orşovei / Carosabil / Obsevator 1 / Izolinii (L)



Valoare în Candela/m², Scară 1 : 500

Raster: 10 x 6 Puncte
Poziţia observatorului: (-60.000 m, 2.000 m, 1.500 m)
acoperire: R3, q0: 0.070

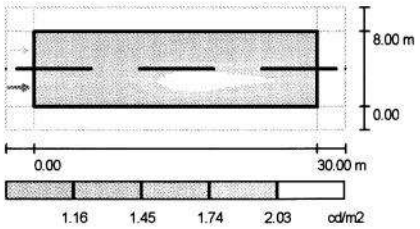
	L_m [cd/m²]	U0	Ul	TI [%]
Valori calculate:	1.5	0.6	0.7	10
Valori necesare conform clasei ME2:	≥ 1.5	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 10
Îndeplinit/Neîndeplinit:	✓	✓	✓	✓

Calea Orşovei DIALux
04.08.200

UEM Resita
Facultatea de Inginerie
Resita, 320085
Piata Traian Vuia 1-4

Proiectant: Florin Pomoja
Telefon
Fax
e-mail f.pomoja@uem.ro

Calea Orşovei / Carosabil / Obsevator 1 / Nuanţe de gri (L)



Scară 1 : 500

Raster: 10 x 6 Puncte
Poziţia observatorului: (-60.000 m, 2.000 m, 1.500 m)
acoperire: R3, q0: 0.070

	L_m [cd/m²]	U0	Ul	TI [%]
Valori calculate:	1.5	0.6	0.7	10
Valori necesare conform clasei ME2:	≥ 1.5	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 10
Îndeplinit/Neîndeplinit:	✓	✓	✓	✓

Pagina 20

Calea Orşovei

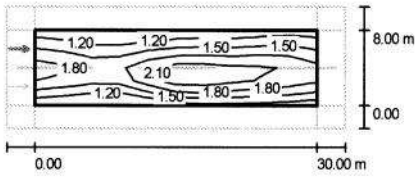
DIALux

04.08.200

UEM Resita
Facultatea de Inginerie
Resita, 320085
Piata Traian Vuia 1-4

Proiectant: Florin Pomoja
Telefon
Fax
e-mail f.pomoja@uem.ro

Calea Orşovei / Carosabil / Observer 2 / Izolinii (L)



Valoare în Candela/m², Scară 1 : 500

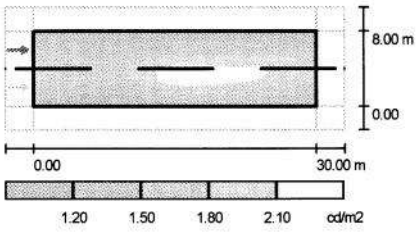
Raster: 10 x 6 Puncte
Poziţia observatorului: (-60.000 m, 6.000 m, 1.500 m)
acoperire: R3, q0: 0.070

	L_m [cd/m²]	U0	Ul	TI [%]
Valori calculate:	1.6	0.6	0.7	10
Valori necesare conform clasei ME2:	≥ 1.5	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 10
Îndeplinit/Neîndeplinit:				

UEM Resita
Facultatea de Inginerie
Resita, 320085
Piata Traian Vuia 1-4

Proiectant: Florin Pomoja
Telefon
Fax
e-mail f.pomoja@uem.ro

Calea Orşovei / Carosabil / Observer 2 / Nuanţe de gri (L)



Scară 1 : 500

Raster: 10 x 6 Puncte
Poziţia observatorului: (-60.000 m, 6.000 m, 1.500 m)
acoperire: R3, q0: 0.070

	L_m [cd/m²]	U0	UI	TI [%]
Valori calculate:	1.6	0.6	0.7	10
Valori necesare conform clasei ME2:	≥ 1.5	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 10
Îndeplinit/Neîndeplinit:	✓	✓	✓	✓

Anexe

Anexa 1 – Simbolizarea cablurilor electrice

Simbol	Semnificaţie	Exemple	Simbol	Semnificaţie	Exemple
1	2	3	4	5	6
Cabluri pentru energie			Cabluri navale		
C	Cablu cu conductoare masive sau multifilare	CYY	CN	Cabluri navale	CNI
C	Conductor concentric de nul		I	Neinflamabil	CNIH
A	Conductor din Al (la început) – dacă lipseşte conductorul este din Cu	ACYY	E	Ecran	CNIAr
			Ar	Armat	CNYY
			ff	Foarte flexibil	CNfYY
Y	Izolaţie, manta sau inel exterior din PVC	CHPAb	f	Flexibil	
2Y	Izolaţie sau manta din polietilenă	ACHPAbY AsYSY	F	Întârziere la propagarea flăcării	CNYYArF
H	Izolaţie din hârtie	ACYAbY	Y	Izolaţie din PVC	
S	Ecran din Cu	ACYPAbY			
E	Ecran	ACYHSY	Cabluri miniere		
P	Manta din Pb	ACYSEY	CM	Cabluri miniere din Cu	
Ab	Armat cu bandă de oţel	ACYCY	CCG	Izolaţie şi manta cu întârziere la propagarea flăcării, rezistent la ulei în execuţie grea	MCCGCEf
As	Armat cu sârmă	AsYSY			
I	Înveliş exterior de protecţie din fibră impregnată	CYSEY	CE	Conductor concentric de legare la pământ din Cu pe fiecare fază	MCCGCEf
F	Cabluri cu întârziere mărită la propagarea flăcării	CHPI CYY-F	f	Flexibil	
Conductoare pentru instalaţii fixe			Cabluri de comandă şi semnalizări		
F	Cabluri pentru instalaţii fixe	FY	CC	Cablu de comandă şi control	CSYY
Y, 2Y	Izolaţie din PVC sau polietilenă	AFY	CS	Cablu de semnalizare	CSYABY
P	Construcţie plană	AFYY	E	Ecran	CSYEY
			Ab	Armat cu bandă	

Simbol	Semnificaţie	Exemple	Simbol	Semnificaţie	Exemple
1	2	3	4	5	6
Cabluri pentru instalaţii mobile					
M	Conductor liţat din Cu	MCU	TC TU	Cablu telefonic de centrală urbană, interurbană	TCYY
C	Izolaţie din cauciuc	MCM	TI	Conductă	TCYP
	Manta din cauciuc (a doua literă)		Ti	telefonică de interurban	
Y	Izolaţie din PVC	MCG	P	Manta de plumb	TUHP
I	Greu combustibil	MYUp			TIHAYAbY
U,M,G	Construcţie uşoară, medie, grea	MYYU MCCG	Cabluri şi conductoare pentru autovehicule		
P	Formă plată		V	Conductoare liţate din Cu	VAY
U	Rezistent la ulei	MCCG-I			
As	Cabluri de ascensoare	MAsYTiR	A	Aprindere (a doua literă)	VLPY
R	Fir de rezistenţă		L	Lumină	VLPYA
Ti	Inserţie textilă		P	Pornire	
Sud	Cabluri de sudură	MSudC	A	Armat (la sfârşit)	
	Cabluri pentru pompe submersibile	MESCCII			

Anexa 2 – Densităţi economice de curent [A/mm^2]

Felul liniei	Tensiunea [kV]	Materialul conductor	Durata de utilizare a puterii maxime [h/an]		
			1000÷3000	3000÷5000	>5000
Linii electrice aeriene	20	Cu-Al Ol-Al	1,2 0,48	0,94 0,40	0,80 0,32
Linii electrice în cablu	<1	Cu Al	1,28 0,64	1,04 0,48	0,88 0,40
	6-10	Cu Al	1,44 0,72	1,12 0,56	0,96 0,48
	20	Cu Al	2,40 1,12	1,92 0,96	1,50 0,80

Anexa 3 – Încărcarea maximă admisă a cablurilor de energie în regim permanent

S [mm^2]	≤1 kV			6 kV	10 kV	20 kV			30 kV		
Cabluri cu izolaţie de hârtie şi manta de plumb, cu conductoare de Cu											
a) pozare în pământ la 20ºC											
1,5	41	31	26	-	-	-	-	-	-	-	-
2,5	55	42	35	-	-	-	-	-	-	-	-
4	72	55	47	-	-	-	-	-	-	-	-
6	92	70	59	59	-	-	-	-	-	-	-
10	125	95	80	80	69	-	-	-	-	-	-
16	165	105	105	105	90	-	-	-	-	-	-
25	210	160	135	135	120	120	-	-	-	-	-
35	255	195	165	165	145	145	-	-	135	-	-
50	305	235	195	195	170	175	200	185	160	185	175
70	385	290	245	245	215	215	245	230	200	230	215
95	460	350	290	290	255	255	290	270	240	270	255
120	530	395	330	330	290	290	330	310	270	310	290
150	700	450	375	375	325	325	370	350	305	345	330
185	680	500	420	420	365	365	410	390	340	385	370
240	790	570	480	480	420	420	470	450	390	435	425
300	900	640	540	540	470	465	520	510	435	485	480
400	1060	740	620	620	540	530	530	590	500	550	530
500	1200	-	-	-	-	580	590	650	540	600	610
b) pozare în aer la 30ºC											
1,5	33	27	23	-	-	-	-	-	-	-	-
2,5	45	36	30	-	-	-	-	-	-	-	-
4	59	47	39	-	-	-	-	-	-	-	-
6	74	59	50	50	-	-	-	-	-	-	-
10	100	80	68	68	-	-	-	-	-	-	-
16	130	105	90	90	-	-	-	-	-	-	-
25	175	140	120	120	-	-	-	-	-	-	-
35	215	170	150	150	125	140	-	-	130	-	-

S [mm^2]	≤1 kV			6 kV	10 kV	20 kV			30 kV		
50	260	205	180	180	155	165	200	185	155	180	175
70	330	260	230	230	195	205	250	240	195	230	220
95	395	320	280	280	235	245	300	285	230	275	265
120	460	360	325	325	270	280	350	330	265	320	305
150	350	410	370	370	310	320	400	180	300	360	350
185	600	470	420	420	365	360	455	435	340	410	400
240	720	550	490	490	410	420	530	510	390	475	465
300	830	620	560	560	470	480	600	580	440	540	530
400	1000	740	660	660	550	560	700	690	510	630	630
500	1160	-	-	-	-	620	780	780	570	700	710
Cabluri cu izolaţie de hârtie şi manta de plumb, cu conductoare de Al											
a) pozare în pământ la 20ºC											
2,5	-	33	28	-	-	-	-	-	-	-	-
4	55	42	36	-	-	-	-	-	-	-	-
6	70	52	45	45	-	-	-	-	-	-	-
10	95	69	60	60	52	-	-	-	-	-	-
16	125	92	79	79	69	-	-	-	-	-	-
25	160	120	100	100	89	92	-	-	-	-	-
35	195	145	125	25	110	110	-	-	105	-	-
50	235	175	150	150	130	130	150	140	125	140	130
70	295	220	190	190	185	185	190	175	155	175	165
95	350	260	225	225	195	195	225	210	185	210	195
120	405	300	255	255	225	220	255	240	210	240	225
150	460	353	290	290	255	250	290	270	235	270	255
185	520	390	330	330	285	285	320	305	265	300	285
240	600	450	375	375	325	325	370	350	305	345	330
300	690	510	420	420	370	420	420	400	345	390	375
400	820	590	490	490	430	470	480	465	400	450	440
500	920	-	-	-	-	-	530	520	445	500	490
b) pozare în aer la 30ºC											
2,5	-	26	35	-	-	-	-	-	-	-	-
4	44	34	30	-	-	-	-	-	-	-	-
6	56	43	39	39	-	-	-	-	-	-	-
10	76	58	53	53	45	-	-	-	-	-	-
16	100	78	70	70	60	-	-	-	-	-	-
25	130	100	91	91	78	85	-	-	-	-	-
35	160	120	110	110	95	105	-	-	95	-	-
50	195	150	140	140	115	125	150	140	115	140	135
70	250	190	175	175	150	160	190	180	150	175	170
95	305	235	215	215	180	190	230	220	180	210	205
120	355	270	250	250	210	220	270	255	205	245	235
150	410	315	285	285	240	250	310	295	235	280	270
185	465	360	325	325	275	285	350	335	265	320	310
240	550	425	385	385	320	330	410	395	310	375	365
300	630	490	440	440	370	380	470	455	350	420	420
400	760	590	530	530	440	440	560	540	410	500	500

S [mm^2]	≤1 kV			6 kV	10 kV	20 kV			30 kV		
500	890	-	-	-	-	500	630	620	460	570	570
Cabluri cu izolaţie şi manta din PVC, cu conductoare de Cu											
a) pozare în pământ la 20ºC											
2,5	-	26	23	-	-	-	-	-	-	-	-
4	44	34	30	-	-	-	-	-	-	-	-
6	56	43	39	39	-	-	-	-	-	-	-
10	76	58	53	53	45	-	-	-	-	-	-
16	100	78	70	70	60	-	-	-	-	-	-
25	130	100	91	91	78	85	-	-	-	-	-
35	160	120	110	110	95	105	-	-	96	-	-
50	195	150	140	140	115	125	150	140	115	140	135
70	250	190	175	175	150	160	190	180	150	175	170
95	305	235	215	215	180	190	230	220	180	210	205
120	355	270	250	250	210	220	270	255	205	245	235
150	410	315	285	285	240	250	310	295	235	280	270
185	465	360	325	325	275	285	350	335	265	320	310
240	550	425	385	385	320	330	410	395	310	375	365
300	630	490	440	440	370	380	470	455	350	420	420
400	760	590	530	530	440	440	560	540	410	500	500
500	890	-	-	-	-	500	630	620	460	570	570
b) pozare în aer la 30ºC											
1,5	37	30	27	-	-	-	-	-	-	-	-
2,5	50	41	36	-	-	-	-	-	-	-	-
4	65	53	46	-	-	-	-	-	-	-	-
6	83	66	58	58	-	-	-	-	-	-	-
10	110	88	77	76	72	-	-	-	-	-	-
16	145	115	100	98	93	-	-	-	-	-	-
25	190	150	130	125	120	-	120	110	-	105	100
35	235	180	155	150	145	-	145	135	-	125	115
50	280	210	185	175	170	-	170	160	-	150	140
70	350	260	230	220	210	-	210	195	-	180	170
95	420	315	275	260	245	-	250	235	-	215	200
120	480	360	315	295	280	-	285	270	-	240	225
150	540	400	355	335	320	-	320	300	-	270	250
185	620	460	400	370	355	-	355	335	-	300	280
240	720	530	465	425	405	-	405	385	-	340	320
300	820	590	520	475	450	-	450	430	-	380	355
400	960	680	600	540	520	-	505	485	-	420	400
500	1110	-	-	-	-	-	560	540	-	460	440
Cabluri cu izolaţie şi manta din PVC, cu conductoare de Al											
a) pozare în pământ la 20ºC											
2,5	37	30	27	-	-	-	-	-	-	-	-
4	52	42	36	-	-	-	-	-	-	-	-
6	68	52	45	-	-	-	-	-	-	-	-
10	86	69	60	-	-	-	-	-	-	-	-

S [mm^2]	≤1 kV			6 kV	10 kV	20 kV			30 kV		
16	113	90	68	-	-	-	-	-	-	-	-
25	150	115	100	97	92	-	95	88	-	82	76
35	180	140	120	115	110	-	110	105	-	97	91
50	215	165	145	135	130	-	170	155	-	115	105
70	270	200	175	170	160	-	210	190	-	140	130
95	325	245	215	200	190	-	250	225	-	165	155
120	375	275	245	230	215	-	280	255	-	190	175
150	420	315	275	260	245	-	300	260	-	210	195
185	480	355	310	290	280	-	340	285	-	235	220
240	560	415	360	330	315	-	320	300	-	270	250
300	640	465	410	380	355	-	360	340	-	300	280
400	740	540	470	425	410	-	405	385	-	335	315
500	860	-	-	-	-	-	455	430	-	375	350
b) pozare în aer la 30ºC											
2,5	26	21	18	-	-	-	-	-	-	-	-
4	36	30	27	-	-	-	-	-	-	-	-
6	46	38	34	-	-	-	-	-	-	-	-
10	63	52	47	-	-	-	-	-	-	-	-
16	82	70	63	-	-	-	-	-	-	-	-
25	110	94	82	87	84	-	87	82	-	75	71
35	135	115	100	105	100	-	105	100	-	91	86
50	165	140	125	130	120	-	170	150	-	110	105
70	210	180	155	160	150	-	210	182	-	135	125
95	260	215	190	195	185	-	225	220	-	165	135
120	300	250	220	220	210	-	290	210	-	190	180
150	350	290	250	250	240	-	295	295	-	215	205
185	400	335	285	285	270	-	325	280	-	245	230
240	480	395	340	340	310	-	350	330	-	290	273
300	350	460	390	390	355	-	400	380	-	330	315
400	660	550	460	450	420	-	460	440	-	385	365
500	-	-	-	-	-	-	530	510	-	440	420

Notă: ***Valorile din tabel vor fi corectate, în funcţie de condiţiile de pozare, prin înmulţire cu coeficienţii de corecţie de mai jos!***

a) La cablurile utilizate în curent alternativ (valorile din tabel sunt pentru c.c.)

s_c [mm^2]	1,5÷6	10÷50	70÷150	185÷240	240÷400
k_c	0,85	0,72	0,70	0,69	0,67

b) La cablurile de 20 kV şi 30 kV cu manta din aluminiu

s_c [mm^2]		25÷35	50÷120	150÷185	240÷300	400÷500
k_n	Cu	0,96	0,93	0,91	0,88	0,83
	Al	0,95	0,95	0,93	0,90	0,86

Anexa 4 – (Anexa 2 din NP 061-02) Valori recomandate pentru proiectarea sistemelor de iluminat general

Tipuri de destinaţii, activităţi sau sarcini vizuale	E_m [lx]	UGR_L	R_a	H_u [m]	Observaţii
1. Arii comune ale cădirilor					
Holuri de intrare	100	22	60	0,00	
Holuri de hotel	200	22	80	0,00	
Platforme de încărcare	150	25	40	0,00	
Zone de circulaţie, coridoare	100	28	40	0,00	A se prevedea zone de tranziţie la intrări şi ieşiri şi a se evita schimbări bruşte ale nivelului de iluminare
Scări, scări rulante	150	25	40	0,00	La nivelul scărilor
Cantine	200	22	80	0,70	1,10 când se ia masa în picioare
Camere de odihnă	100	22	80	0,00	
Săli pentru exerciţii fizice	300	22	80	0,00	
Săli de baie, toalete	200	25	80	0,00	
Infirmerii	500	19	80	0,50	
Săli de consultaţii medicale	500	16	90		Pe masa de consultaţii*) T_{cp} cel puţin 4000 K
Sălile maşinilor	200	25	60	0,00	
Săli cu panouri de comandă	500	19	80		Pe suprafata panoului*)
Depozite, magazii	100	25	60		Pe rafturi; 200 lx în cazul ocupării continue
Spaţii pentru ambalare	300	25	60	0,70	
Puncte de control	150	22	60		Pe suprafaţa pe care se face control; 200 lx în cazul ocupării continue
2. Clădiri pentru agricultură					
Utilaje pentru încărcarea şi manevrarea produselor	200	25	80	0,00	
Grajduri	50	28	40	0,00	
Ţarcuri pentru animale	200	25	80	0,00	

Tipuri de destinaţii, activităţi sau sarcini vizuale	E_m [lx]	UGR_L	R_a	H_u [m]	Observaţii
bolnave					
Zone de preparare a hranei, ferme de lapte, spălătorii	200	25	80	0,00	
3. Brutării					
Prepararea şi coacere	300	22	80		Pe suprafaţa de lucru
Finisare, glazurare, decorare	500	22	80		Pe suprafaţa de lucru
4. Industria cimentului					
Uscătorii	50	28	20	0,00	
Prepararea materialelor	200	28	40		Pe suprafaţa de lucru
Lucru mecanizat general	300	25	20		Pe suprafaţa de lucru
Forme brute, neprelucrate	300	25	20		Pe suprafaţa de lucru
5. Industria ceramică şi a sticlei					
Uscătorii	50	28	20	0,00	
Preparare, lucru mecanizat	300	25	20		Pe suprafaţa de lucru
Smălţuire, laminare, presare, modelare brută, suflare în sticlă	300	25	40		Pe suprafaţa de lucru
Polizare, gravură, lustruire, modelare de precizie	750	19	80		Pe suprafaţa de lucru
Lucru decorativ	500	19	80		Pe suprafaţa de lucru
Polizarea sticlei optice, polizarea şi gravura cristalului (manuale)	750	16	80		Pe suprafaţa de lucru
Lucru de precizie	1000	16	90		T_{cp} cel puţin 4000 K
Producţie de pietre preţioase	1500	16	90		T_{cp} cel puţin 4000 K
6. Industria chimică, plastică şi a cauciucului					
Procese automatizate cu comandă de la distanţă	50		20	0,00	
Procese cu intervenţie manuală limitată	150	28	40	0,00	

Tipuri de destinaţii, activităţi sau sarcini vizuale	E_m **[lx]**	UGR_L	R_a	H_u **[m]**	**Observaţii**
Locuri de muncă manuală	300	25	80	0,00	
Camere de măsurare de precizie, laboratoare	500	19	80		Pe suprafaţa de lucru
Producţie farmaceutică	500	22	80	0,70	
Producţie de anvelope	500	22	80	0,70	
Controlul culorilor	1000	16	90	0,70	T_{cp} cel puţin 6500 K
Tăieri, finisări, control	750	19	80	0,70	
7. Industria electrotehnică şi electronică					
Producţie de cabluri şi conducte	300	25	60	0,70	
Confecţionare bobine mari	300	25	60	0,70	
Confecţionare bobine de mărime medie	500	22	60	0,70	
Confecţionare bobine mici	750	19	80	0,70	
Impregnare bobine	300	25	60	0,70	
Galvanizare	300	25	60	0,70	
Asamblare brută (transformatoare mari)	300	25	60	0,00	
Asamblare medie (panouri de comandă şi control)	500	22	80	0,70	
Asamblare fină (telefoane)	750	19	80	0,70	
Asamblare de precizie (echipamente de măsură)	1000	16	80	0,70	
Ateliere electronice, testări, ajustări	1500	16	80	0,70	
8. Industria alimentară					
Iluminat general în zone de muncă la fabrici de bere, fabrici de ciocolată şi fabrici de zahăr	200	25	80	0,00	
Sortare şi spălare produse ambalare	300	25	80	0,70	
Iluminat general în abatoare, măcelării,	500	25	80	0,70	

Tipuri de destinaţii, activităţi sau sarcini vizuale	E_m [lx]	UGR_L	R_a	H_u [m]	Observaţii
lăptării şi rafinării de zahăr					
Tăiere şi sortare fructe şi legume	300	25	80	0,70	
Producţie de alimente delicatese, bucătării	500	22	80	0,70	
Producţie de ţigări	500	22	80	0,70	
Controlul producţiei şi al produselor, trieri, sortări	500	22	80	0,70	
Laboratoare	500	19	80	0,70	
Controlul culorii	1000	16	90	0,70	T_{cp} cel puţin 4000 K
9. Turnătorii de metale					
Tuneluri subterane, pivniţe	50	28	20	0,00	Cu condiţia recunoaşterii facile a culorilor de siguranţă
Platforme	100	25	40	0,00	
Pregătirea nisipului	200	25	40	0,00	
Vestiare	200	25	40	0,00	
Locuri de muncă la cupolă şi mixer	200	25	40	0,00	
Băi de turnare	200	25	40	0,00	
Zone de scoatere a materialelor din băile de turnare	200	25	40	0,00	
Turnare mecanizată	200	25	40	0,00	
Turnare manuală	300	25	40	0,00	
Matriţare	300	25	40	0,00	
Confecţionare modele	500	22	40	0,00	
10. Saloane de coafură					
Coafare	500	19	90	0,70	
11. Producţia de bijuterii					
Lucrul cu pietre preţioase	1500	16	90	0,70	T_{cp} cel puţin 4000 K
Producţia bijuteriilor	1000	16	90	0,70	
Producţie manuală ceasuri	1500	16	80	0,70	
Producţie automatizată ceasuri	500	19	80	0,70	
12. Spălătorii şi curăţătorii chimice					

Tipuri de destinaţii, activităţi sau sarcini vizuale	E_m [lx]	UGR_L	R_a	H_u [m]	Observaţii
Recepţie, marcare şi sortare obiecte	300	22	60	0,70	
Spălare şi curăţare, călcare	300	25	60	0,70	
Control şi ajustări	750	19	80	0,70	
13. Industria pielăriei					
Curăţire de carne, răzuire, frecare, întoarcerea pielii	300	25	40	0,70	
Lucru de şelărie, cusut, lustruire, tăiere	500	22	60	0,70	
Sortare	500	22	80	0,70	T_{cp} cel puţin 4000 K
Colorare, nuanţare	500	22	60	0,70	
Controlul de calitate	1000	19	80	0,70	
Controlul culorilor	1000	16	90	0,70	T_{cp} cel puţin 4000 K
Fabricarea pantofilor	500	22	80	0,70	
Fabricarea mănuşilor	500	22	80	0,70	
14. Industria metalurgică					
Forjare matriţe	200	25	40	0,00	
Sudări, asamblări la rece	300	25	40	0,00	
Lucru brut sau mediu, cu toleranţe mai mari de 0,1 mm	300	22	40	0,70	
Lucru de precizie, cu toleranţe sub 0,1 mm	500	19	80	0,70	
Trasare, control	750	19	80	0,70	
Desenarea formelor ţevilor şi cablurilor metalice	300	25	40	0,70	
Lucru cu table mai groase de 5 mm	200	25	40	0,00	
Lucru cu foi mai subţiri de 5 mm	300	22	60	0,00	
Fabricarea sculelor şi a echipamentelor de tăiere	750	19	80	0,70	
Asamblare brută	200	25	60	0,00	
Asamblare medie	300	25	60	0,00	
Asamblare fină	500	22	60	0,70	

Tipuri de destinaţii, activităţi sau sarcini vizuale	E_m **[lx]**	UGR_L	R_a	H_u **[m]**	**Observaţii**
Asamblare de precizie	750	19	80	0,70	
Galvanizare	300	25	40	0,70	
Pregătirea suprafeţelor şi vopsire	750	25	80	0,70	
Mecanică de precizie, micromecanică, matriţare, fabricarea sculelor	1000	19	80	0,70	
15. Industria hârtiei					
Fabrici de celuloză	200	25	40	0,00	
Fabricarea şi procesarea hârtiei	300	25	40	0,00	
Legări cărţi şi copertări	500	22	60	0,70	
16. Centrale de producere a energiei					
Spaţii de alimentare cu combustibil	50	28	20	0,00	
Sala cazanelor	100	28	40	0,00	
Sălile maşinilor	200	25	40	0,00	
Spaţii auxiliare, pompe, condensatoare	200	25	40	0,00	
Camere de comandă	500	16	80	0,70	
Staţii interioare de conexiuni	150	25	40	0,00	
Boxe trafo, aparataj	150	25	40	0,00	
Camere pentru redresoare	150	28	20	0,00	
Camere pentru acumulatori	100	28	20	0,00	
Cameră pentru compensatorul sincron	200	25	40	0,00	
Cameră pentru grup electrogen	200	25	40	0,00	
Gospodării de cabluri	100	28	20	0,00	
17. Tipografii					
Tăiere, gofrare, lucru cu clişee, maşini de tipărit, matriţare	500	19	80	0,70	
Sortare hârtie şi tipărire manuală	500	19	80	0,70	
Setări, litografiere, retuşări	1000	19	80	0,70	
Controlul culorilor	1500	16	90	0,70	T_{cp} 5000 K

Tipuri de destinaţii, activităţi sau sarcini vizuale	E_m [lx]	UGR_L	R_a	H_u [m]	Observaţii
(dacă e cazul)					
Clişee metalice	2000	16	80	0,70	
18. Industria metalurgică şi siderurgică					
Procese automatizate fără intervenţii manuale	50	28	20	0,00	
Procese de producţie cu intervenţii manuale ocazionale	150	28	40	0,00	
Procese de producţie cu operaţie manuală permanentă	200	25	40	0,00	
Depozite	50	28	20	0,00	
Cuptoare, furnale	200	25	20	0,00	
Laminoare	300	25	40	0,00	
Platforme şi panouri de control	300	22	40	0,00	
Testări, măsurări, controale	500	22	40	0,70	
Tuneluri subterane	50	28	20	0,00	
19. Industria textilă					
Băi, desfaceri baloturi material	200	25	60	0,00	
Dărăcire, spălare, călcare, măsurare, desenare, potrivire, tăiere, pre-toarcere, prelucrare cânepă, etc.	300	22	60	0,00	
Toarcere, lucru cu pliuri, înfăşurare, croşetare, împletire, tricotare	500	22	60	0,70	Atenţie la efectele stroboscopice
Cusut, tricotare fină	750	22	60	0,70	
Design manual, desenare tipare	750	22	90	0,70	T_{cp} cel puţin 4000 K
Finisări, colorări, nuanţări	500	22	80	0,70	
Uscătorii	100	28	40	0,00	
Imprimări automate	500	25	40	0,70	
Scoatere noduri, sortări	1000	19	80	0,70	
Control de calitate şi al culorii	1000	16	90	0,70	T_{cp} cel puţin 4000 K

Tipuri de destinaţii, activităţi sau sarcini vizuale	E_m **[lx]**	UGR_L	R_a	H_u **[m]**	**Observaţii**
Reparări, îmbunătăţiri	1500	19	90	0,70	T_{cp} cel puţin 4000 K
Confecţionare pălării	500	22	80	0,70	
20. Industria construcţiilor de maşini					
Asamblare caroserii	500	22	60	0,50	
Vopsitorii, lustruiri în camere	750	22	60	0,50	
Vopsiri particulare pe zonă şi control	1000	16	90	0,50	T_{cp} cel puţin 4000 K
Fabricare manuală tapiţerii	1000	19	80	0,70	
Control final	750	19	80	0,70	
21. Industria lemnului şi a mobilei					
Procese total automatizate	50	28	40	0,00	
Proces de umezire cu abur	150	28	40	0,00	
Lucru la gater	300	25	60	0,70	Atenţie la efectele stroboscopice
Asamblare, lipire	300	25	60	0,70	
Lustruire, vopsire, lăcuire, asamblare fină	750	22	80	0,70	
Lucru cu utilaje mecanizate	500	19	80	0,70	Atenţie la efectele stroboscopice
Selecţie furniruri, încrustare	750	22	80	0,70	T_{cp} cel puţin 4000 K
Control de calitate	750	19	90	0,70	T_{cp} cel puţin 4000 K
22. Birouri					
Scris, citit, procesare de date	500	19	80	0,70	Pentru lucrul cu display-uri vezi şi 4.10
Desen tehnic	750	16	80		Pe masa de desen
Birouri/săli de proiectare asistată de calculator	500	19	80	0,70	Pentru lucrul cu display-uri vezi şi 4.10
Săli de conferinţe şi reuniuni	300	19	80	0,70	
Birouri de primire	300	22	80	0,70	
Arhive	200	25	80		Pe rafturi
23. Spaţii comerciale					
Spaţii comerciale mici	300	22	80	0,70	

Tipuri de destinaţii, activităţi sau sarcini vizuale	E_m [lx]	UGR_L	R_a	H_u [m]	Observaţii
Spaţii comerciale mari	500	22	80	0,70	
Zone case de plată	500	19	80	0,70	
Zone de împachetare	500	19	80	0,70	
24. Restaurante şi hoteluri					
Recepţii	300	22	80	0,70	
Bucătării	500	22	80		Pe suprafaţa de lucru
Restaurante, spaţii funcţionale	200	22	80	0,70	
Restaurant auto-servire	200	22	80	0,70	
Bufet	300	22	80	0,70	
Săli de conferinţă	500	19	80	0,70	A se utiliza elemente de control
Coridoare	100	25	60	0,00	În timpul nopţii se acceptă şi niveluri mai scăzute de iluminare
25. Spaţii de divertisment şi muzee					
Teatre şi săli de concert	200	22	80	0,50	
Săli polivalente	300	22	80	0,00	
Săli pentru repetiţii, cabine artişti	300	22	80	0,50	Pentru machiat este necesar iluminatul de oglindă fără orbire
Muzee	300	19	80	0,70	Iluminatul trebuie să răspundă cerinţelor de evidenţiere şi să prezinte protecţie împotriva efectelor radiaţiilor
26. Biblioteci					
Rafturi cărţi	200	19	80		Pe rafturi
Locuri pentru lectură	500	19	80	0,70	
Ghişee	500	19	80	0,70	
27. Parcări interioare					
Rampe intrare/ieşire pe timp de zi	300	25	20	0,00	
Rampe intrare/ieşire pe timp de noapte	75	25	20	0,00	
Bandă de circulaţie	75	25	20	0,00	
Spaţii de parcare	75	28	20	0,00	

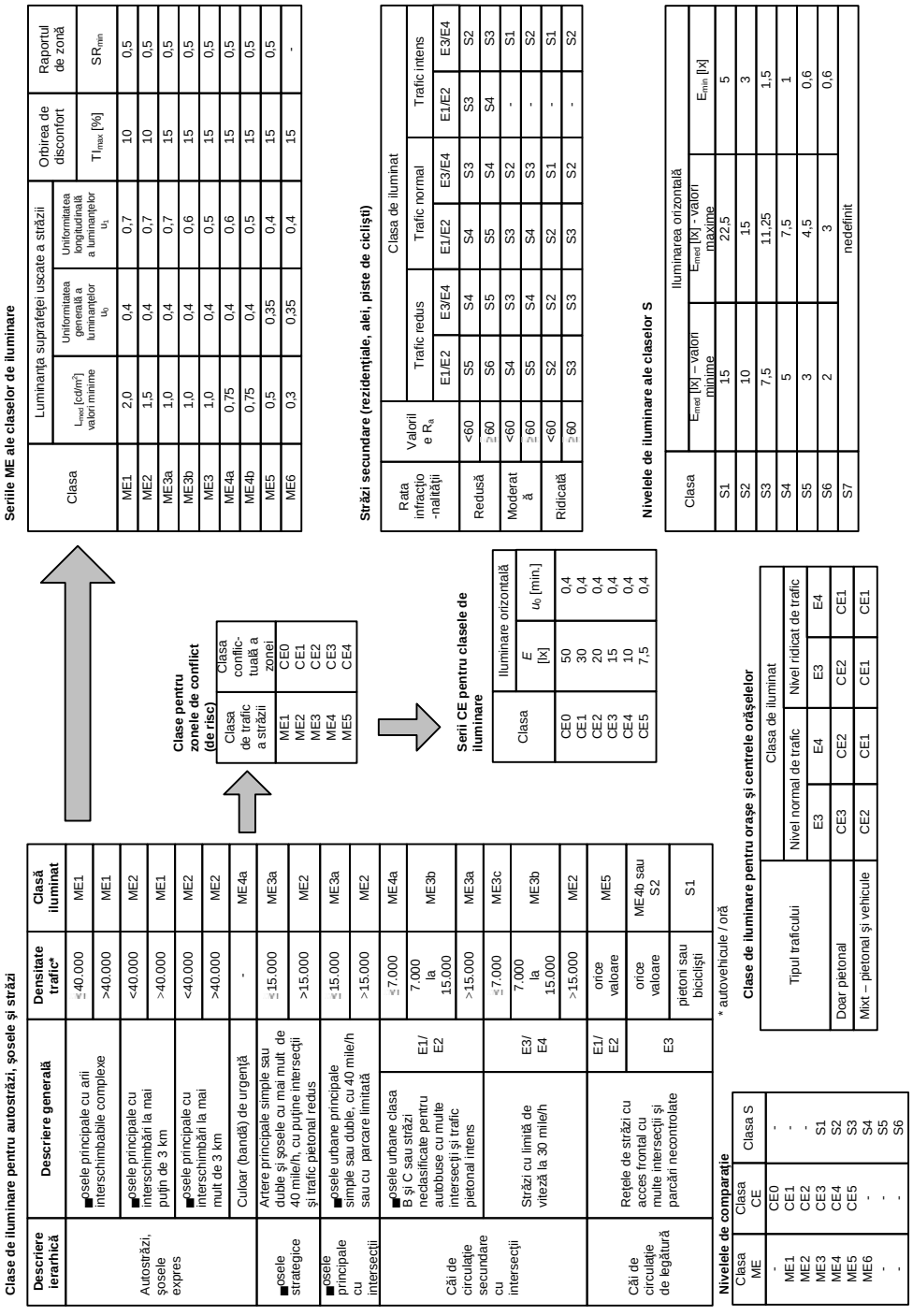
Tipuri de destinaţii, activităţi sau sarcini vizuale	E_m [lx]	UGR_L	R_a	H_u [m]	Observaţii
28. Instituţii de învăţământ					
Camere de joacă	300	19	80	0,00	
Săli de clasă în creşe şi grădiniţe	300	19	80	0,00	
Săli de consultaţii	300	19	80	0,70	
Săli de clasă	300	19	80	0,70	
Săli de clasă pentru cursuri de seară sau pentru adulţi	500	19	80	0,70	
Săli de lectură	500	19	80	0,70	
Tablă	500	19	80		Pe tablă A se evita reflexiile de voal
Tablă de demonstraţie	500	19	80		Pe tablă În sălile de lectură 750 lx
Ateliere	500	19	80	1,0	
Ateliere de artă în şcoli de artă	750	19	90	0,7	T_{cp} cel puţin 5000 K
Săli de desen tehnic	750	19	80	0,7	Pe planşetă
Laboratoare	500	19	80	0,7	
Amfiteatre	500	19	80	0,7	
Săli de muzică	300	19	80	0,7	
Săli de calculatoare	500	19	80	0,7	
Laboratoare lingvistice	300	19	80	0,7	
Săli de studiu	500	22	80	0,7	
Camere comune pentru studenţi şi săli de reuniune	200	22	80	0,7	
Cancelarii	300	22	80	0,7	
Săli de sport şi bazine de înot	300	22	80	0,00	Pentru zonele de acces public vezi CIE 58-1993 şi CIE 62-1984
29. Spitale şi clinici					
Săli de aşteptare	200	22	80	0,00	
Coridoare, ziua	200	22	80	0,00	
Coridoare, noaptea	50	22	80	0,00	
Birouri personal	500	19	80	0,7	
Camere personal	300	19	80	0,7	
Iluminat general saloane	100	19	80	0,00	Iluminare la nivelul pardoselii

Tipuri de destinaţii, activităţi sau sarcini vizuale	E_m **[lx]**	UGR_L	R_a	H_u **[m]**	**Observaţii**
- citit în saloane	300	19	80		Prin iluminat local pe suprafaţa utilă
- examinare simplă în saloane	300	19	80		
- examinări şi tratamente	1000	19	90		
- iluminat de veghe/observare	5	19	80		
Băi şi toalete pentru pacienţi	200	22	80		La oglindă
Iluminat general săli de consultaţie	500	19	90	0,70	
Examinarea ochilor şi urechilor	1000		90		Iluminat local pentru examinare
Teste de vedere (citit şi culoare)	500	16	90		Pe suprafaţa de testare
Saloane de dializă	500	19	80	0,70	
Saloane de dermatologie	500	19	90	0,70	
Saloane de endoscopie	300	19	80	0,70	
Săli de pansare	500	19	80	0,70	
Saloane de masaj şi radioterapie	300	19	80	0,70	
Saloane preoperator şi de reanimare	500	19	90	0,70	
Săli de operaţii:					3 x 3 m^2 în jurul mesei
- iluminat general;	500	19	90	0,70	
- iluminat general în jurul mesei de operaţie	1000	19	90	0,70	
Iluminat local masă de operaţie	10000-100000	16	90		Pe câmpul operator
Terapie intensivă:					La nivelul pardoselii La nivelul patului Pe suprafaţa de examinare
- iluminat general	100	19	90	0,00	
- examinări simple	300	19	90	0,00	
- examinări şi tratamente	1000	19	90	0,00	
- supraveghere pe timp de noapte	20	19	90	0,00	
Stomatologie:					Iluminatul nu trebuie să prezinte riscuri de orbire a pacientului Iluminat local
- iluminat general	500	19	90	0,70	
- iluminat local pacient	1000		90		
- iluminat local operaţie	5000		90		

Tipuri de destinaţii, activităţi sau sarcini vizuale	E_m [lx]	UGR_L	R_a	H_u [m]	Observaţii
					pentru examinare Pe câmpul operator Pot fi necesare valori mai mari de 5000 lx
- îmbinare, ajustare dinţi albi	5000		90		T_{cp} cel puţin 6000 K
Controlul culorii (laboratoare)	1000	19	90	0,70	T_{cp} cel puţin 5000 K
Camere sterilizate/dezinfectate	300	22	60	0,70	
Săli de autopsie şi morgă	750	19	90	0,70	
Masa de autopsie şi disecţie	5000		90	0,70	Pot fi necesare valori mai mari de 5000 lx
30. Aeroporturi					
Terminale plecări, sosiri, spaţii de recuperare a bagajelor	200	22	80	0,00	
Zone de legătură, scări rulante	200	22	80	0,00	
Birouri de informaţii şi de înregistrare	500	19	80	0,70	Pentru lucrul cu disply-uri
Posturi de control paşapoarte	500	19	80	0,70	Iluminarea verticală este importantă
Spaţii de aşteptare	200	22	80	0,00	
Spaţii de depozitare a bagajelor	200	28	60	0,00	
Posturi de verificare şi control	300	19	80	0,70	Pentru lucrul cu disply-uri
Turnul de control	500	16	80	0,70	A se evita orbirea de la lumina naturală
Camere de urmărire a traficului aerian	500	16	80	0,70	A se prevedea varierea fluxului pentru lucrul cu disply-uri

Tipuri de destinaţii, activităţi sau sarcini vizuale	E_m [lx]	UGR_L	R_a	H_u [m]	Observaţii
Hangare de testări şi reparaţii	500	22	80	0,00	Pentru interioare înalte vezi 4.6.2
Zone de verificare a motoarelor	500	22	80	0,00	Pentru interioare înalte
Zone de măsurări în hangare	500	22	80	0,00	Pentru interioare înalte vezi 4.6.2
Platforme şi pasaje pietonale	50	28	40	0,00	
Holul caselor de bilete	200	28	40	0,00	
Case de bilete şi birouri bagaje	300	19	80	0,70	
Săli de aşteptare	200	22	80	0,70	
31. Biserici					
Zona publicului	100	25	80	0,00	
Corul, altarul, amvonul	300	22	80	0,00	

Anexa 5 – Ghid prescurtat pentru alegerea claselor de iluminat general – BS EN 13201-2 :2003[67]



Clase de iluminare pentru autostrăzi, şosele şi străzi

Descriere ierarhică	Descriere generală		Densitate trafic*	Clasă iluminat
Autostrăzi, şosele expres	şosele principale cu arii interschimbabile complexe		≤ 40.000	ME1
			>40.000	ME1
	şosele principale cu interschimbări la mai puţin de 3 km		<40.000	ME2
			>40.000	ME1
	şosele principale cu interschimbări la mai mult de 3 km		<40.000	ME2
			>40.000	ME2
	Culoar (bandă) de urgenţă		-	ME4a
şosele strategice	Artere principale simple sau duble şi şosele cu mai mult de 40 mile/h, cu puţine intersecţii şi trafic pietonal redus		≤ 15.000	ME3a
			>15.000	ME2
şosele principale cu intersecţii	şosele urbane principale simple sau duble, cu 40 mile/h sau cu parcare limitată		≤ 15.000	ME3a
			>15.000	ME2
Căi de circulaţie secundare cu intersecţii	şosele urbane clasa B şi C sau străzi neclasificate pentru autobuse cu multe intersecţii şi trafic pietonal intens	E1/ E2	≤ 7.000	ME4a
			7.000 la 15.000	ME3b
		E3/ E4	>15.000	ME3a
	Străzi cu limită de viteză la 30 mile/h		≤ 7.000	ME3c
			7.000 la 15.000	ME3b
			>15.000	ME2
Căi de circulaţie de legătură	Reţele de străzi cu acces frontal cu multe intersecţii şi parcări necontrolate	E1/ E2	orice valoare	ME5
		E3	orice valoare	ME4b sau S2
			pietoni sau bicicliști	S1

* autovehicule / oră

Nivelele de comparaţie

Clasa ME	Clasa CE	Clasa S
-	CE0	-
ME1	CE1	-
ME2	CE2	-
ME3	CE3	S1
ME4	CE4	S2
ME5	CE5	S3
ME6	-	S4
-	-	S5
-	-	S6

Clase de iluminare pentru oraşe şi centrele oraşelor

Tipul traficului	Clasa de iluminat			
	Nivel normal de trafic		Nivel ridicat de trafic	
	E3	E4	E3	E4
Doar pietonal	CE3	CE2	CE2	CE1
Mixt – pietonal şi vehicule	CE2	CE1	CE1	CE1

Clase pentru zonele de conflict (de risc)

Clasa de trafic a străzii	Clasa conflic-tuală a zonei
ME1	CE0
ME2	CE1
ME3	CE2
ME4	CE3
ME5	CE4

Serii CE pentru clasele de iluminare

Clasa	Iluminare orizontală	
	$\bar{E}$ [lx]	u_0 [min.]
CE0	50	0,4
CE1	30	0,4
CE2	20	0,4
CE3	15	0,4
CE4	10	0,4
CE5	7,5	0,4

Seriile ME ale claselor de iluminare

Clasa	Luminanţa suprafeţei uscate a străzii			Orbirea de disconfort	Raportul de zonă
	L_{med} [cd/m²] valori minime	Uniformitatea generală a luminanţelor u_0	Uniformitatea longitudinală a luminanţelor u_l	TI_{max} [%]	SR_{min}
ME1	2,0	0,4	0,7	10	0,5
ME2	1,5	0,4	0,7	10	0,5
ME3a	1,0	0,4	0,7	15	0,5
ME3b	1,0	0,4	0,6	15	0,5
ME3	1,0	0,4	0,5	15	0,5
ME4a	0,75	0,4	0,6	15	0,5
ME4b	0,75	0,4	0,5	15	0,5
ME5	0,5	0,35	0,4	15	0,5
ME6	0,3	0,35	0,4	15	-

Străzi secundare (rezidenţiale, alei, piste de ciclişti)

Rata infracţio-nalităţii	Valorile R_a	Clasa de iluminat					
		Trafic redus		Trafic normal		Trafic intens	
		E1/E2	E3/E4	E1/E2	E3/E4	E1/E2	E3/E4
Redusă	<60	S5	S4	S4	S3	S3	S2
	≥60	S6	S5	S5	S4	S4	S3
Moderată	<60	S4	S3	S3	S2	-	S1
	≥60	S5	S4	S4	S3	-	S2
Ridicată	<60	S2	S2	S2	S1	-	S1
	≥60	S3	S3	S3	S2	-	S2

Nivelele de iluminare ale claselor S

Clasa	Iluminarea orizontală		
	E_{med} [lx] – valori minime	E_{med} [lx] - valori maxime	E_{min} [lx]
S1	15	22,5	5
S2	10	15	3
S3	7,5	11,25	1,5
S4	5	7,5	1
S5	3	4,5	0,6
S6	2	3	0,6
S7	nedefinit		

[67] www.atkinsodlin.co.uk

Anexa 6 – Valori ale indicelui global de orbire UGR şi ale indicelui de redare a culorilor R_a (extrase din standardele EN 12464-1, EN 12464-2, EN 12193)

Tipuri ale zonelor de lucru sau de activităţi	UGR	R_a
Zone generale exterioare / exterioare de circulaţie		
Trotuare	5	20
Zone de trafic pentru vehicule cu viteze foarte reduse (max. 10 km/h) – biciclete, excavatoare	10	20
Zone de trafic pentru vehicule cu viteze reduse (max. 40 km/h)	20	20
Pasaje pentru pietoni	50	20
Aeroporturi		
Hangare	20	20
Terminale	30	40
Zone de încărcare a mărfurilor	50	40
Depozite de combustibil	50	40
Ateliere de întreţinere a avioanelor	200	60
Zone cu clădiri		
Excavări şi încărcări	20	20
Zone de construcţii, montaje, transport, depozitare	50	20
Zone de montaj (elemente de lemn, instalaţii electrice, cablări, iluminat)	100	40
Zone de montaj (elemente de îmbinări, instalaţii mecanice, instalaţii sanitare)	200	40
Staţii de combustibil		
Parcări auto, zone de depozitare	5	20
Intrări şi ieşiri de pe autostrăzi – zone întunecoase (zone rurale, suburbii)	20	20
Intrări şi ieşiri de pe autostrăzi – zone luminoase (zone urbane)	50	20
Zone de verificare a presiunii, spălătorii, alte servicii	150	20
Zone industriale, de depozitare		
Zone de manipulare rapidă de materiale mari, grosiere, încărcări şi descărcări de paleţi	20	20
Zone de manipulare continuă de materiale mari, grosiere, zone de operare a macaralelor, platforme deschise de încărcare-descărcare	50	20
Platforme de încărcare acoperite	100	20
Inspectarea instalaţiilor electrice, a tubulaturilor	200	60
Parcări		
Trafic redus (parcări ale magazinelor mici, teraselor, clădiri cu apartamente)	5	20
Trafic mediu (parcări ale magazinelor mari, clădiri de birouri, uzine, clădiri multifuncţionale)	10	20

Tipuri ale zonelor de lucru sau de activităţi	UGR	R_a
Trafic dens (centre comerciale mari, centre sportive mari, alte complexe)	50	20
Zone industriale petrochimice şi alte zone cu pericol ridicat		
Utilizări regulate ale ventilelor, porniri/opriri de motoare	20	20
Încărcări/descărcări de containere, autocamioane, vagoane, cu substanţe fără pericol de explozie	50	20
Încărcări/descărcări de containere, autocamioane cisternă, vagoane cisternă cu substanţe cu pericol de explozie, servicii generale, înlocuiri de pompe, citiri de instrumente	100	40
Zone pentru încărcări/descărcări de combustibil	100	20
Reparaţii ale unor maşini electrice	200	60
Centrale de producere a energiei electrice, a gazului sau agentului termic		
Zone de circulaţie pietonală în zone sigure d.p.d.v. electric	5	20
Manipularea uneltelor de lucru şi a cărbunelui	20	20
Servicii generale, citiri de instrumente	100	40
Tuneluri aerodinamice: servicii şi întreţinere	100	40
Reparaţii ale sistemelor electrice	200	60
Căi ferate şi tramvaie		
Staţii	10	20
Zone de urcare	10	20
Transporturi uşoare, operaţii de scurtă durată	10	20
Platforme deschise, trenuri rurale sau locale, număr mic de pasageri	15	20
Trotuare	20	20
Treceri de nivel	20	20
Platforme deschise, trenuri suburbane sau regionale, număr mare de pasageri	20	20
Transporturi uşoare, operaţii continue	20	20
Zone de întreţinere a vagoanelor şi locomotivelor	20	40
Zone în care se fac cuplări	30	20
Scări în staţii mici şi medii	50	40
Platforme deschise, servicii inter-city	50	20
Platforme acoperite, servicii regionale	50	40
Zone pentru inspectare	100	40

Bibliografie

Bianchi, C. ş.a. *Sisteme de iluminat interior şi exterior*, ed. a III-a, Ed. Matrixrom, Bucureşti, 2001.

Bogoevici, N. *Energia electromagnetică,* Editura Politehnica, Timişoara, 1999.

Centea, O., Bianchi, C. *Instalaţii electrice,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1973.

Comşa, D. *Utilizările energiei electrice,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1973.

Comşa, D. ş.a. *Proiectarea instalaţiilor electrice industriale,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1983.

Dinculescu, P., Sişak, F. *Instalaţii şi echipamente electrice,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1982.

Duminicatu, M. ş.a. *Proiectarea instalaţiilor de joasă tensiune,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1975.

Gillich, N. Piroi, I. *Producerea, transportul şi distribuţia energiei electrice,* Editura Eftimie Murgu, Reşiţa, 2009.

Gillich, N., Tătucu, I., Gruescu, L. *Maşini şi instalaţii electrice,* Editura Eftimie Murgu, Reşiţa, 2002.

Goşea, I. *Instalaţii şi utilizări ale energiei electrice,* Editura Universitaria, Craiova, 2001.

Hütte, *Manualul inginerului. Fundamente,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1995 (trad. din lb. germană, după ediţia a 29-a).

Ionescu, I., Munteanu, C., Munteanu, Gh. *Executarea instalaţiilor de joasă tensiune,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1975.

Gheorghiu, N., Rădoi, A., Grayrand, J. *Utilizarea energiei electrice în industrie şi agricultură,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1975.

Kaminski, E.A. *Cum se citesc schemele instalaţiilor electrice,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1974.

Mircea, I. *Instalaţii şi echipamente electrice,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1996.

Nicula, A. ş .a. *Electricitate şi magnetizare,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1982.

Pantelimon, L. ş.a. *Utilizarea energiei electrice şi instalaţii electrice. Probleme,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1980.

Pietrăreanu, E. *Construcţia şi exploatarea reţelelor de cabluri în întreprinderile industriale,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1973.

Pietrăreanu, E. *Reglementări privind proiectarea, execuţia şi exploatarea instalaţiilor electrice de utilizare,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1972.

Piroi, I. *Instalaţii şi echipamente electrice*, Litografia Institutului Politehnic „Traian Vuia“ Timişoara, 1984.

Piroi, I. *Maşini electrice*, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 2004.

Piroi, I. *Maşini electrice*, Editura Eftimie Murgu, Reşiţa, 2009.

Piroi, I. *Utilizarea energiei electrice,* Editura Eftimie Murgu, Reşiţa, 2009.

Ponner, I. *Electronică industrială,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1972.

Pop, F. R. ş.a. *Eficienţa energetică în iluminat,* Editura Energobit, Cluj-Napoca, 2005.

Prisăcaru, V. ş.a. *Utilizările energiei electrice,* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1969.

Sarchiz, D. *Optimizări în electroenergetică,* Centrul Naţional de Inovare, Târgu Mureş, 1993.

Seaborg, G.T., Corliss, W.R. *Omul şi atomul. Construirea unei lumi noi prin tehnologia nucleară,* Editura Ştiinţifică, Bucureşti, 1971.

Şora, I., Văzdăuţeanu, V. ş.a. *Utilizări ale energiei electrice,* Editura Facla, Timişoara, 1983.

***

AUPTDE **Uniunea Arabă a Producătorilor, Transportatorilor şi Distribuitorilor de Electricitate**, *statistici*

ENERG *Serie continuă de sinteze documentare, cercetări aplicative, soluţii practice, actualităţi şi informaţii tehnice din domeniul producerii, transportului, distribuţiei şi utilizării diferitelor forme de energie* – vol. I-VIII, Editura Tehnică, Bucureşti, 1986-1990.

EIA – Electricity International Agency *statistici, tabele.*

Human Development Reports *statistici, rapoarte.*

IEA – International Energy Annual *statistici, tabele.*

Siemens *Memoratorul inginerului electrician,* Editura Tehnică, Bucureşti, 1971.

SOCER – Societatea Română pentru Eficienţă Energetică.

UCTE – Uniunea de Coordonare a Transportului Electricităţii *statistici, tabele, hărţi.*

*** *Corpuri şi sisteme de iluminat produse la S.C. Elba SA*, oct. 2005.

******* *Instruction Manual – Luminance meter LS-100/LS-110,* Konica-Minolta.

******* *Lexiconul tehnic român* – vol. I–XVI.

*** *Manualul inginerului electrician*, vol. VII, Ed. Tehnică, Bucureşti, 1958.

******* *Normativ privind întocmirea şi analiza bilanţurilor energetice,* PE 902/1986, reeditat în 1995, ICEMENERG, Bucureşti, 1995.

******* *Normativ privind alimentarea cu energie electrică a consumatorilor industriali şi similari,* (Indicativ PE 194-93), Bucureşti, 1993.

******* *Normativ privind combaterea efectului de flicker în reţelele de distribuţie,* (Indicativ PE 142-93), Bucureşti, 1993.

******* *Normativ privind limitarea regimului deformant,* (Indicativ PE 143-93), Bucureşti, 1993.

******* *Normativ privind proiectarea şi executarea construcţiilor şi instalaţiilor energetice din punct de vedere al prevenirii incendiilor,* (Indicativ PE 009-93), Bucureşti, 1993.

******* *Normativ pentru proiectarea şi executarea instalaţiilor electrice cu tensiuni până la 1.000 V c.a. şi 1.500 V c.c.* (Indicativ I.7-2009), Institutul de cercetări pentru echipamente şi tehnologii în construcţii, Bucureşti, 1999.

*** *Normativ pentru proiectarea şi executarea sistemelor de iluminat artificial din clădiri, Indicativ: NP 061-02.*

******* *Regulament de furnizare şi utilizare a energiei electrice,* (Indicativ PE 932-93), Bucureşti, 1993.